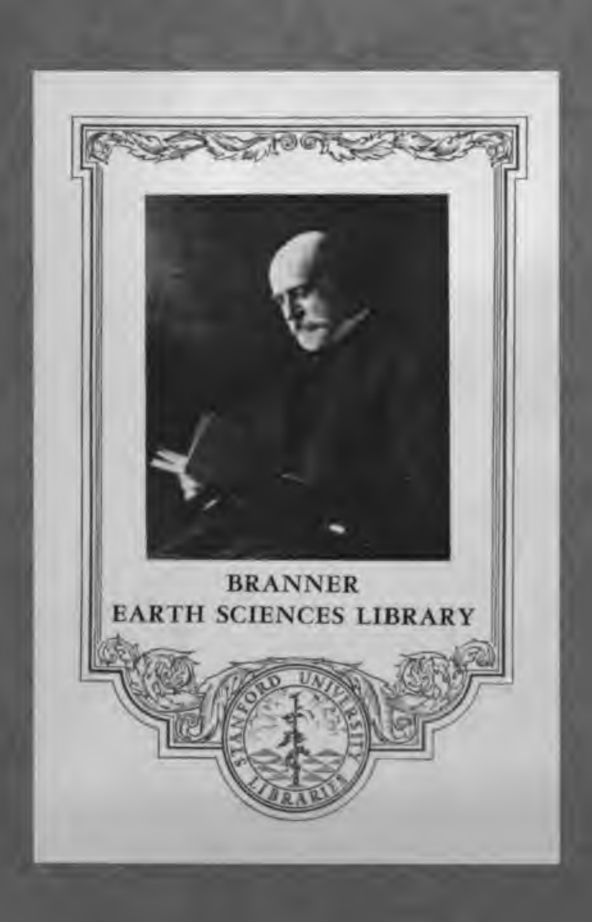
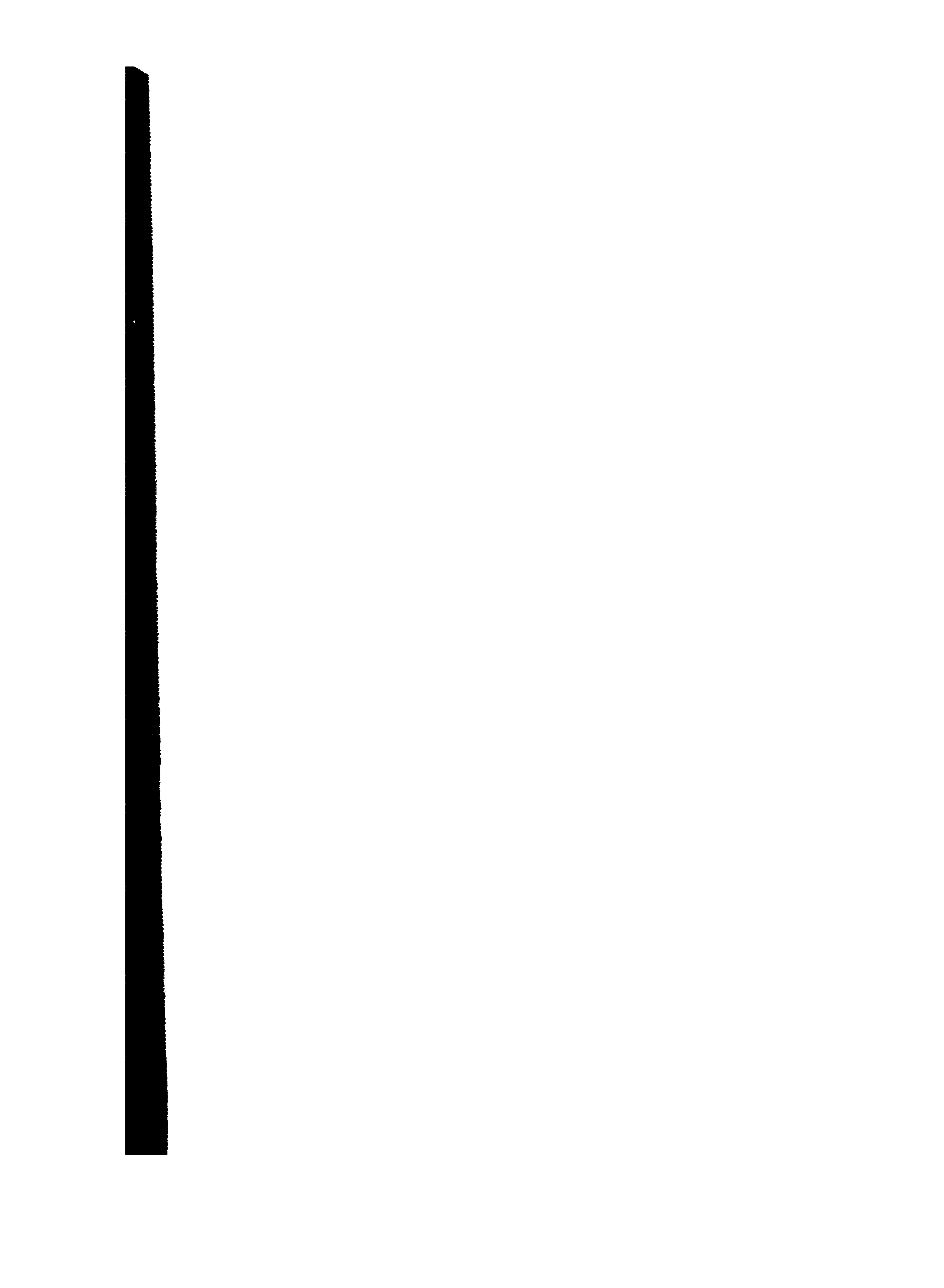
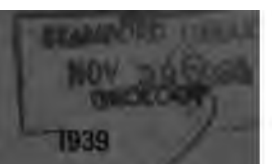


Zeitschrift für angewandte Mineralogie.









nd 2 Heft I 1939

Zeitschrift für ngewandte Mineralogie

ter Mitwirkung von G. Angenheister-Göttingen, P. J. Beger-nnover, M. Berek-Wetzlar, C. W. Correns-Göttingen, W. Eitel-rlin-Dahlem, R. Nacken-Frankfurt a. M., G. Masing-Göttingen, v. Philipsborn-Freiberg, P. Ramdohr-Berlin, W. Schmidt-Char-tenburg, K. Spangenberg-Breslau, H. Steinmetz-München u. a.

herausgegeben

von

F. K. Drescher-Kaden

Inhalt:

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

1939

Z. angew. Min.	2	1	1—152	Berlin, 1. 7. 39

Zeitschrift für angewandte Mineralogie

Die „Zeitschrift für angewandte Mineralogie" erscheint in zwanglosen Hefte denen etwa vier einen Band bilden. Der Preis für den vollständigen Band im U von etwa 24 Bogen beträgt *RM* 28.—.

Manuskripte, Anfragen, Bücher und Sonderdrucke für Besprechungen un nahme in die Liste der Neuerscheinungen (Bibliographie) sowie alle redaktionelle teilungen sind an

Professor Dr. Fr. Drescher-Kaden, Mineralog. Institu
Universität Göttingen, Lotzestr. 16—18

zu senden; alle geschäftlichen Mitteilungen an die

Verlagsbuchhandlung Gebrüder Borntraeger in B
Zehlendorf, Theodor-Fritsch-Allee 25

Publikationsbestimmungen: Maßgebend für die äußere Form der Manuskri Korrektur ist die für die meisten deutschen geologischen (und manche anderen) Zeits geltende „Anweisung für die Verfasser". Die Autoren erhalten sie auf Wunsch du Verlagsbuchhandlung zugesandt. Ihre Befolgung erspart Verfasser und Herausgeb Arbeit und Kosten. Die wichtigsten Punkte sind: Manuskripte in Maschinenschrift, s fehlerfrei. Kurze Zusammenfassung am Schluß der Abhandlungen und Übersichte bildungen und Karten nach Verabredung mit der Schriftleitung. Einleitende tech methodische Abschnitte sind durch Kleindruck (Petit) herauszuheben ([= Zeichen a der Niederschrift). Besondere Worte und Wortgruppen sind (durch Unterstreichen m drucktechnisch üblichen Zeichen) durch Verwendung der üblichen Schriftarten hervorz

z. B. VERFASSERNAMEN, *Speziesnamen*, w i c h t i g e D i n g e, **Überschr**

Zitiert wird im Text durch Namen und Jahreszahl (ev. a, b usw.) eingeklammer (TWENHOFEL 1933a). Fußnoten im Text einschränken, Literaturangaben nur am der Aufsätze, alphabetisch geordnet, Jahreszahl zuletzt. Anschrift des Verfass Kopf von Manuskript und Korrektur, möglichst Stempel. Vorlagen für Abbil und Kartenausschnitte nachbildungsfertig gesondert, Unterschriften: für die Mitrepro reproduktionsfähig einzeichnen, für den Druck satzfähig dem Manuskript beilege Verlagsbuchhandlung übernimmt die Korrekturkosten bis zu 10 % der Satzkosten, kosten hat der Verfasser zu tragen.

Unkostenersatz: Die Mitarbeiter erhalten für Abhandlungen bis zu zwei und für kleinere Mitteilungen *RM* 32,— je Bogen. Dissertationen sind honorarfr Übersichten (Sammelreferate) bis zu zwei Bogen, Referate und Literaturüber (Bibliographiebeiträge) werden *RM* 48,— je Bogen (= 16 Seiten) vergütet. Für ge beigegebene Tafeln und Karten wird kein Honorar gezahlt.

Sonderdrucke: Von jeder Arbeit werden 40 Separate (von Dissertatio kostenfrei geliefert, ohne Neuumbruch, Neupaginierung und ohne Umschlag. Kos derartige Sonderwünsche trägt der Verfasser. Weitere Abzüge bis zur Höchstzahl v (von Dissertationen 125) besorgt auf Wunsch jeder Verfasser bei rechtzeitiger Be (bei der 1. Korrektur) von der Verlagsbuchhandlung.

Die Mehrabzüge werden

bis zu	50	100	200 Exemplaren
mit	24	20	16 Pfg. je Druckbogen berechnet.

Mehr als im ganzen 200 Separate werden nicht abgegeben. Für Tafeln k der Preis nur von Fall zu Fall angeben.

Herausgeber und Verlag
der „Zeitschrift für angewandte Minera

Spektralanalytische Untersuchungen an sulfidischen Erzlagerstätten des ostbayerischen Grenzgebirges

Ein Beitrag zur Geochemie von Nickel und Kobalt

Von F. Rost, München

Mit 1 Figur

Einleitung

Für die sulfidischen Erzlager des ostbayerischen Grenzgebirges wurde mehrmals eine gleiche, syngenetische Bildungsweise angenommen (1, 2, 3, 4, 5, 6). In fast allen Lagern bildet Pyrit den primären Hauptbestandteil des Erzes. Die konkordante Lagerung und der Verband mit dem Nebengestein sowie die Erzstrukturen legten eine gleiche Entstehung der Kieslager auf sedimentärer Grundlage nahe, trotz der großen Unterschiede in der heutigen Erzführung, die teils auf mehr oder weniger starke Metamorphose, teils auf hydrothermale Erzzufuhr zurückzuführen sind. Aus einigen spektrographischen Analysen von Pyrit und Magnetkies aus verschiedenen der genannten Lagerstätten

ergab sich auch eine chemische Verwandtschaft der Kieslager, die ebenfalls für eine gleiche Bildungsweise sprach, da das Verhältnis von Nickel zu Kobalt — als Leitelemente im Sinne V. M. GOLDSCHMIDTS (7) — für die untersuchten Erze große Ähnlichkeit zeigte.

Die genauere Überprüfung der Verteilung von Nickel und Kobalt in den Kieslagern bildete das Ziel vorliegender Arbeit. Daneben wurde in den einzelnen Erzen noch der Gehalt an Mangan (8), Zink, Chrom, Kupfer und Silber bestimmt. Vor allem sollte untersucht werden, ob einerseits die Gehalte der accessorischen Metalle in den Erzarten — Pyrit, Magnetkies, Kupferkies u. a. — ähnlich oder verschieden sind und ob andererseits zwischen der Primär- und Sekundärgeneration der einzelnen Erze Gehaltsunterschiede bestehen. Grundlegend war dabei erst festzustellen, wieweit besonders das Verhältnis Nickel : Kobalt für ein Erz derselben Generation innerhalb einer Lagerstätte konstant ist. Erst aus diesen Voraussetzungen konnte sich die Eignung der genannten Elemente als Leitelemente ergeben und einen genetischen Vergleich der Kieslager des ostbayerischen Grenzgebirges auf geochemischer Grundlage ermöglichen.

Analysenmethode

Als schnelles und bis zu geringen Gehalten empfindliches Analysenverfahren kam die spektralanalytische Bestimmung in Anwendung, die als Göttinger Kohlebogenmethode von MANNKOPFF und PETERS (9) für Mineralanalysen entwickelt wurde und vielfach schon in Mineralogie und Geochemie Anwendung fand. Die zu prüfende Substanz wird dabei aus einer Bohrung der Kathodenkohle im Lichtbogen verdampft und das Spektrum photographisch aufgenommen und ausgewertet. Die Bestimmung der meisten Elemente kann dabei in einem Analysengang erfolgen.

Bestimmungen von Beimengungen in Eisensulfiden nach der Kohlebogenmethode wurden von GOLDSCHMIDT und PETERS (10) auf Nickel, Chrom, Kobalt u. a. und von ERNST und HÖRMANN (11) auf Nickel, Chrom und Vanadium ausgeführt. In Anlehnung an die dort beschriebene Methode wurde in vorliegender Arbeit folgendes Analysenverfahren angewendet:

Die sulfidischen Erze — meist Pyrit und Magnetkies — wurden auf etwa 1—2 mm Korngröße zerkleinert und unter der Lupe ausgesucht. Das Material wurde hierauf gepulvert und vorsichtig bei Rotglut ungefähr 20 Min. lang in einer glasierten Porzellanschale abgeröstet. Das Oxyd wurde dann mit der doppelten Menge reinsten Quarzpulvers verrieben und die Mischung in die Bohrung der Spektralkohle gefüllt und mit einem Stahlstift festgestopft. Als Kohlen kamen reinste Spektralkohlen von Ruhstrat in Göttingen sowie vom Mineralogischen Institut der Universität in Göttingen zur Anwendung.

Nach Versuchen mit Kohlen verschiedenen Durchmessers und verschiedener Bohrung erwies sich folgende Form der Kohle als die geeignetste:

Außendurchmesser . .	3 mm (auf 15 mm Länge)
Bohrungsdurchmesser .	1,3 mm
Bohrungstiefe	5 mm.

Diese Ausmaße der Kohle gewährleisteten einen gleichmäßigen Abbrand der Kohle und eine stete Verdampfung der Substanz.

Gegenüber einer Bohrung von nur 1 mm Durchmesser und 2 mm Tiefe (11) und größeren Dimensionen (12) kam bei Verwendung der hier angegebenen Größen eine größere Substanzmenge zur Analyse, wobei der geringere Außendurchmesser gestattete, den Bogen leichter in der Abbildungsachse des Spektrographen zu halten. Außerdem konnte infolge der längeren Verdampfungs- und Belichtungsdauer eine unempfindlichere Platte zur Aufnahme verwendet werden: die „Reproduktionsplatte hart" von Perutz, die sich wegen ihrer Feinkörnigkeit und durch einen langen geradlinigen Teil der Schwärzungskurve besonders zu quantitativen Spektralaufnahmen eignet. Durch den hohen Schwellenwert wurde auch der Bandenuntergrund ziemlich unterdrückt. Allerdings mußte gegenüber der größeren relativen Genauigkeit eine geringere Absolutempfindlichkeit mit in Kauf genommen werden.

Die gefüllte Kohle wurde als Kathode in den Stromkreis des Bogens geschaltet. Bei geöffnetem Spalt des Spektrographen wurde der Bogen dann durch Heben der Anode gezündet und bei konstanter Stromstärke von 6 Amp. und konstanter Bogenlänge von 10 mm aufgenommen bis zur völligen Verdampfung der Substanz, was bis 150 Sek. in Anspruch nahm. Eine fraktionierte Aufnahme wurde absichtlich vermieden.

Der Bogen wurde von 2 mm unter bis 8 mm über der Kathodenglimmschicht durch eine Quarzlinse im Prisma abgebildet. Dadurch wurde eine gleichmäßige Ausleuchtung des Spektrographenspalts erreicht, die für die quantitativen Aufnahmen erforderlich war. Eine Hilfsvorrichtung diente zur Einstellung der Kathode in der richtigen Stellung.

Der Spektrograph war ein großer Quarzspektrograph von Fuess mit Autokollimationsanordnung des Prismas und 1750 mm Brennweite, der jedoch nicht gestattete, den ganzen UV-Bereich auf eine Aufnahme zu erhalten. In dem zur Anwendung gelangenden Spektralbereich von 2914,7 AE bis 3631,3 AE ermöglichte die große Dispersion von 4,6 bis 9,0 AE/mm eine einwandfreie Trennung der Analysenlinien von den zahlreichen Linien des Eisenspektrums.

Auswertung der Spektrogramme

Zur Auswertung der Spektrogramme und zur vergleichenden Gehaltsbestimmung wurden nach denselben Bedingungen (S. 2, 3) Aufnahmen von Testmischungen gemacht, bei denen die Oxyde der zu bestimmenden Metalle reinem Eisenoxyd beigemengt waren. Die Gehalte waren 1 : 3 : 10 usf. abgestuft. Die Oxydmischung wurde mit reinem Quarz 1 : 2 verdünnt.

Mit diesen Testaufnahmen wurden die Spektrogramme der abgerösteten Erze verglichen und aus Intensitätsgleichheit der entsprechenden Linien bei Erz- und Testaufnahme auf Gleichheit des Gehalts geschlossen. Da dabei zunächst der Gehalt an Oxyd im abgerösteten, in Oxydform vorliegenden Erz bestimmt wurde, mußten die Werte auf den Gehalt an Metall im ursprünglichen sulfidischen Erz umgerechnet werden. Letztere umgerechneten Werte werden im folgenden in den Tabellen angegeben.

Analysenlinien und Nachweisbarkeitsgrenzen

Im folgenden sollen die Analysenlinien und die Nachweisbarkeitsgrenze für jedes der bestimmten Elemente angegeben werden. Da die Hauptlinien bei höheren Gehalten infolge zu großer Schwärzung einen Vergleich nicht mehr gestatteten, wurden geeignete schwächere Linien zum Vergleich benutzt.

Element	Hauptlinien in AE	Nebenlinien in AE	Untere, quantitative Nachweisbarkeitsgrenze % Metall in Erz
Ni	3050,8 3417,8	3390,6 3054,32	0,0015
Co	3453,5	3395,4 3061,8	0,0015
Mn[1])	—	2949,2 (MnII) 3236,8 (MnII)	0,01
Zn	—	3345,5 3302,6	0,05
Cr	3593,48	—	0,0005
Cu	3274,0 3247,5	2961,2	0,001
Ag	3383,9 3280,7	—	0,003

[1]) Bei der Beschränkung des Spektralbereichs konnte für Mangan und Zink eine größere Absolutempfindlichkeit nicht erreicht werden, da die Hauptlinien in anderen Bereichen lagen, sondern es mußten die angegebenen Linien als günstigste verwendet werden. Die Verwendung von Funkenlinien wie die Manganlinien kann im vorliegenden Fall nicht zu falschen Analysenergebnissen führen (6, 13, 14), da die Grundsubstanz des analysierten Materials mit der Testmischung übereinstimmt und außerdem die Ableuchtungsbedingungen immer konstant gehalten wurden.

Bei einigen Analysen wurde auch ein Gehalt an Blei angegeben. Da es sich dabei um beigemengten Bleiglanz und nicht um Blei handelt, das in den untersuchten Erzen vorhanden ist, wurde auf eine genaue Bestimmung verzichtet und nur der Nachweis des Bleis angeführt (Linie 3639,6 AE).

Genauigkeit der angewandten Analysenmethode

Da die Verteilung des Kobaltgehaltes in den Pyriten des Silberberges bei Bodenmais genauer bestimmt werden sollte, als durch das einfache visuelle Vergleichsverfahren möglich war, wurde die Gehaltsbestimmung von Kobalt in Eisensulfid quantitativ photometrisch durchgeführt. Dabei konnte die Genauigkeit der angewandten Analysenmethode quantitativ festgelegt werden. Aus drei Parallelreihen bestimmter Testmischungen wurde nach der Formel (15)

$$\text{Mittlerer Fehler} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \ldots v_n^2}{n-1}}$$

der mittlere Fehler zu 12,33 % des Intensitätsverhältnisses Fe 3402,3/Co 3395,4 gefunden. Graphisch läßt sich daraus der Fehler im Gehalt zu 11,3 % bestimmen. Die entsprechenden Maximalfehler der Methode sind für das Intensitätsverhältnis 24,4 %, für den Gehalt 22,5 %.

Es geht daraus hervor, daß die bei den quantitativen Testaufnahmen benützten Gehaltsstufen von

0,1/0,2/0,3/0,5/0,75/1,0/1,5/2,0/3,0/5,0 %[1])

noch einwandfrei auseinandergehalten werden können, auch visuell kann zwischen den eben genannten Stufen noch eine Unterscheidung getroffen werden. Die bei der halbquantitativen Vergleichsbestimmung benützten Stufen von 1 : 3 : 10 lassen nach dem Gesagten noch Zwischenwerte berechtigt erscheinen, die bei der Bestimmung auch angegeben wurden. Bei sehr niedrigen Gehalten wird allerdings die Genauigkeit geringer, besonders an der Grenze der Nachweisbarkeit. Quantitative Angaben können hierüber jedoch nicht gemacht werden, da, von bedeutend größeren Analysenfehlern in der Ableuchtung abgesehen, die Schwärzung der Linien außerhalb des geradlinigen Teils der Schwärzungskurve liegt.

Die Untersuchungsergebnisse

Kupferberg

Als erste Lagerstätte wurde Kupferberg in Oberfranken untersucht, das in der südwestlichen Umrandung der Münchberger Gneismasse liegt (16, 17, 2). Das Kieslager wird hauptsächlich von fein-

[1]) Co_3O_4 in Fe_2O_3, in den Tabellen auf Co in FeS_2 umgerechnet.

körnigem bis dichtem Pyrit gebildet, mit stark wechselndem Gehalt an Kupferkies und Zinkblende. An vielen Stellen durchsetzen nach BRAND jüngere Quarz- und Calcitgänge das Lager, die Kupferkies, Pyrit und Zinkblende führen. Zur Analyse wurde das dichte Erz ohne Trennung der einzelnen Komponenten verwendet, die erzmikroskopische Untersuchung gab über die qualitative Zusammensetzung der analysierten Probe Aufschluß (2).

Tabelle 1. Kupferberg

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
1. Rotenhamschacht . .	0,002	0,01	0,16	0,17	0,56	0
2. Fabrikschacht . . .	0,016	0,025	0,16	0	1,70	sp.
3. „ . . .	0	0,05	0,11	0,17	0,56	sp.
4. „ . . .	0,002	0,05	0,011	0,17	1,80	sp.
5. „ . . .	0,016	0,1	0,16	2,0	1,10	0,006
6. St. Veitsschacht . .	0,002	0,05	0,016	0	> 10	0,006
7. St. Veitsgang . . .	0,002	0,015	0,016	0,17	> 10	0,006
8. „ „	0	0,01	0,011	0,3	5,0	0,006
9. „ „	0,002	0,05	0,016	0,056	5,0	0,003

Die Analysen des dichten Erzes von verschiedenen Stellen des Erzlagers zeigen einen schwankenden Absolutgehalt an Nickel von unter 0,001—0,016 % und Kobalt von 0,01—0,1 %, das Verhältnis von Nickel: Kobalt liegt aber immer unter 1, im höchsten Fall, wie bei Analyse 4, 6 und 9 ist es 1 : 25. Das Mangan, das zwischen 0,011 und 0,16 % vorhanden ist, ist sicher nicht an die im Mischerz vorliegende Zinkblende gebunden, wie ein Vergleich der Mangan- und Zinkgehalte zeigt. Besonders tritt die Unabhängigkeit des Mangangehaltes bei Analyse 2 und 6 hervor, deren Zinkgehalt unter 0,06 % liegt, während Mangan mit 0,16 und 0,016 % nachgewiesen werden konnte[1]).

In Übereinstimmung mit den bei H. BRAND angegebenen Analysenzahlen stehen die Kupfergehalte zwischen 1 und über 10 %, sowie die stark wechselnden Silbergehalte von unter 0,0001 bis 0,006 %.

Zum Vergleich wurden auch einige reine Erzmineralien aus dem Diabas analysiert, der in geringer Entfernung des Kieslagers vorkommt. Im Diabas tritt Pyrit und Kupferkies in schmalen, bis zu 2 cm breiten Gängen auf, deren Erzführung auch mit der späteren Erzgeneration im eigentlichen Kieslager in Verbindung gebracht wird (16, 17, 2). Ferner soll zur Vollständigkeit noch eine Analyse von Buntkupfererz an-

[1]) Nach DOELTER (18) wurde in Zinkblende ein maximaler Gehalt an Mangan von 5,81 % gefunden — siehe auch Analysen von Zinkblende 34, 35 und 109. — Auf die mögliche Abhängigkeit des Mn-Gehalts von beigemengter Zinkblende machte F. HEGEMANN aufmerksam.

gegeben werden, das dem eigentlichen Kieslager entstammt, jedoch ohne nähere Fundstellenangabe.

Tabelle 2. Kupferberg

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
10. Buntkupfererz . . .	0,007	0,003	0,14	0	—	0,043
11. Pyrit	0	0,005	0	0	0	0
12. Kupferkies	0	(0,001)	0	0	—	0,016
13. „	0	(0,001)	0	0	—	0,016

Vor allem bei dem Pyrit (Analyse 11) fällt die große Reinheit auf, die im Gegensatz zu den dichten Erzen des Kieslagers steht (siehe auch die späteren Pyritanalysen). Daß der reine Kupferkies fremde Elemente nur spurenweise enthält, konnte auch in Analysen von Kupferkies anderer Fundorte gezeigt werden.

Ausschließlich das Silber geht in größerer Menge — bis zu 0,016 % — in den Kupferkies ein, ebenso in das Buntkupfererz, dessen Silbergehalt mit 0,043 % besonders hervorzuheben ist. Auf diesen verhältnismäßig hohen Silbergehalt der Kupfererze dürfte auch zurückzuführen sein, daß in den dichten Erzen des Kupferberger Kieslagers der Silbergehalt eine Abhängigkeit vom Kupfergehalt zeigt. Einen ähnlichen Befund gibt A. Cissarz für den Mansfelder Kupferschiefer an (19), wonach das Silber hier ebenfalls mit dem Kupfer läuft.

Wiersberg

In südöstlicher Richtung von Kupferberg liegen in demselben Streichen die Lagerstätten „Goldener Adler“ bei Neufang und „Goldener Falk“ bei Wiersberg, die nach A. Wurm mit Kupferberg eine einheitliche Erzzone darstellen. Das Erzlager von Wiersberg liegt bereits in höher metamorphosierten Gesteinen der Grünschieferzone der Münchberger Gneismasse und besteht im Gegensatz zu Kupferberg neben Pyrit vorwiegend aus Magnetkies.

Tabelle 3. Wiersberg

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
14. Magnetkies dicht . .	0,0035	0,013	0,14	1,5	0,07	sp.
15. „ krist. . .	0,007	0,013	0	0	0,7	sp.
16. Pyrit	0	0,02	0	0	0,07	0
17. „	0	0,013	0,007	0	0,07	0
18. Quarz von An. 15 .	0	0	0,01	0	0,06	sp.

Der Magnetkies von Analyse 14 stammt aus dem eigentlichen Kieslager, ist dicht bis sehr feinkörnig und wurde ohne vorhergehende Abtrennung analysiert. Die beiden analysierten Pyrite bilden nach Befund am Handstück im sog. Grünschiefer mit Quarz als Gangart

etwa 3 cm breite Gänge, deren Streichen im Winkel von annähernd 20° zur S-Fläche des Schiefers steht; für die Analysen wurde der Pyrit auf etwa 1—2 mm Korngröße zerkleinert und ausgesucht, wie bereits auf Seite 2 angeführt wurde. Der Magnetkies von Analyse 15 ist grobkristallin, mit Kupferkies zusammen in einem grünlichen Quarz eingelagert, dessen Spektralanalyse bei 18 angegeben wird.

In Übereinstimmung mit den Kupferberger Analysen ist in den untersuchten Wiersberger Proben auch im Magnetkies der Kobaltgehalt höher als der Nickelgehalt, nur das Mangan tritt in dem gangförmig auftretenden Pyrit zurück, ebenso in dem Magnetkies 15.

Sparneck

Ein ganz anderes Bild zeigen die Analysenbefunde des Kieslagers von Sparneck, das ebenfalls in der Grünschieferzone der Münchberger Gneismasse an deren Südostrand liegt (20, 3).

Tabelle 4. Sparneck

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
19. rein (ausgesucht), Pyrit	0,011	0,01	0	0,53	0,05	sp.
20. Erzdurchschnitt . .	0,011	0,01	0	0,53	0,25	0,003
21. „ . .	0,011	0,01	0	1,06	0,5	sp.
22. Pyrit	0,05	0,15	0	0	0,01	0
23. „	0,05	0,37	0	0	sp.	0

Die Proben 19, 20 und 21 sind dem körnigen Erz entnommen, das das eigentliche Kieslager von Sparneck, den Abbau „Bergsegen" bildet. Sowohl das reine Erz (ausgesucht) wie die beiden anderen Durchschnittsproben, die ohne Abtrennung von der Gangart analysiert wurden, zeigen einen annähernd gleichen Nickel- und Kobaltgehalt. Der Pyrit der Analysen 22 und 23 tritt in gangförmigem Quarz in Chlorit-Epidotschiefer am Westrande des Benker Berges in grobkristalliner Form auf. Der höhere Nickel- und Kobaltgehalt bei einem Verhältnis Ni : Co zu 1 : 3 und 1 : 7 unterscheidet diesen Pyrit deutlich vom Pyrit des Erzlagers. Auch sein Auftreten spricht für eine andere Bildungsweise (vgl. die Analysen von Fichtelberg, S. 18)[1]).

Pfaffenreuth, Grube Bayerland

Außerordentlich schwankend sind die Analysenwerte für die Kieslagerstätte von Pfaffenreuth südlich Waldsassen (21, 22),

[1]) Ähnlich den hier gefundenen Werten zeigt die bei F. HEGEMANN (3) veröffentlichte Analyse für Nickel und Kobalt Absolutgehalte von 0,005 und 0,007 % bei einem Verhältnis Ni : Co zu 2 : 3. Die Analyse stammt von einer Erzprobe aus Sparneck, jedoch ohne genauere Fundstellenangabe; die Probe wurde uns damals von Prof. BUSCHENDORF freundlicherweise überlassen.

selbst innerhalb des feinkörnigen Erzes, das vorwiegend aus Pyrit besteht und die Hauptmasse des Erzkörpers bildet.

Tabelle 5. Pfaffenreuth

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag	(Pb)
24. Pyrit feinkörnig . . .	(0,001)	0,05	0	0,25	0,25	0	0
25. „ „ . . .	0,0015	0,005	0	0	0,25	sp.	0
26. „ „ . . .	0	0,01	0	2,5	0,15	sp.	0
27. „ sehr feinkörnig .	0	0,01	0	1,5	0,025	0,012	viel
28. „ grobkristallin . .	0,0015	0,15	0	1,5	0,25	sp.	+
29. „ „ . .	0,0015	0,15	0	1,5	0,05	sp.	+
30. „ „ . .	0,015	0,01	0	0,15	0,25	0	sp.
31. „ Kristalle . . .	0,005	0,15	0	0,15	0,25	sp.	—
32. Arsenkies	0,02	0	0	0,04	0,02	0,0025	viel
33. Kupferkies	0	0	0	0	—	0,008	+
34. Zinkblende	0	0	1—2	—	0,07	0,004	+
35. „	0,006	0,002	1—2	—	0,7	0,002	—
36. Pyrit derb aus Quarz	0,005	0,005	0	0	sp.	0,003	—

Während bei schwankendem Absolutgehalt das Verhältnis Ni : Co in den Analysen 24 mit 29 von 1 : 3 bis zu 1 : 100 steigt, zeigt der grobkristalline Pyrit (Analyse 30) eine Umkehr des Verhältnisses. Dieser Pyrit kommt im Handstück mit Jamesonit zusammen vor, ebenso wie der in der Tabelle folgende Pyrit (Analyse 31), der in wohlausgebildeten Kristallen in Jamesonit eingewachsen ist. Der Pyrit 31 hat jedoch Ni : Co zu 1 : 30, steht also mit den erstgenannten Pyriten in Übereinstimmung. Der hohe Nickelgehalt in Pyrit 30 kann nach dem Analysenbild auch nicht von anderen Verunreinigungen kommen, da nur spurenweise Blei nachgewiesen werden konnte. Bleiglanz und Jamesonit von Pfaffenreuth ist aber nach chemischer Prüfung nahezu frei von Nickel.

Die Verteilung des Silbers läßt hier eine Abhängigkeit vom Kupfergehalt nicht so deutlich erkennen wie in Kupferberg, da noch in verschiedenen Analysen (Analyse 27) eine Abhängigkeit des Silbergehaltes vom Bleigehalt hinzukommt.

Der zuletzt (Tabelle 5) angegebene Pyrit 36 ist in Quarz eingewachsen und stammt aus einem neueren Bohrloch südöstlich der Pfaffenreuther Grube schon außerhalb des eigentlichen Kieslagers. Ein Vergleich mit den Sparnecker Analysen 22 und 23 zeigt, daß trotz des gleichen Auftretens in gangförmigem Quarz der Nickel- und Kobaltgehalt wesentlich verschieden ist, auch der hohe Kupfergehalt und der Gehalt an Silber mit 0,003 % ist bei dem Pyrit 36 hervorzuheben.

Dachsberg und Kranzberg

Von den beiden kleineren Magnetkiesvorkommen im Gabbroamphibolitgebiet von Neukirchen am Heil. Blut bei Dachsberg und

Kranzberg wurden nur drei Erzproben analysiert. Der Magnetkies beider Vorkommen ist feinkörnig in das Nebengestein eingesprengt. In beiden Fällen wurde der Magnetkies magnetisch vom Gestein getrennt und nach Seite 2 untersucht.

Tabelle 6. Dachsberg und Kranzberg

	Ni	Co	Mn	Zn	Cr	Cu	Ag
37. Dachsberg	0,035	0,032	0,035	0	0,003	0,07	sp.
38. „	0,035	0,032	0,035	0	0,005	0,004	sp.
39. Kranzberg	0,07	0,02	0,014	0	0,006	0,02	0

Erst ein Vergleich mit anderen Magnetkiesanalysen aus Unterried und Bodenmais wird die Sonderstellung der Erze von Dachsberg und Kranzberg zeigen können. Besonders hervorzuheben ist der Chromgehalt der Erzprobe, der in anderen Analysen keine Parallele findet (Verunreinigung aus Magnetit und Silikaten).

Lam

Das Kieslager „von der Schmelz“ bei Lam hat für die vorliegende Arbeit insofern erhöhte Bedeutung, als es nach (5, 4) in nächste genetische Beziehung zum Kieslager am Silberberg bei Bodenmais gesetzt wird, das in vorliegender Arbeit besonders eingehend untersucht wurde. Beide Lagerstätten liegen in Gesteinen, die sich von altersgleichen Tonschiefern ableiten und nur durch die Art der Metamorphose voneinander unterscheiden (23). Die Glimmerschiefer des künischen Gebirges, in denen das Lamer Kieslager liegt, sind weiter südlich zu Cordieritgneisen metamorphosiert; mehrere Metamorphosen veränderten auch das Kieslager bei Bodenmais weitgehend.

Das Lamer Kieslager besteht im allgemeinen aus einem körnigen Gemenge aus Pyrit und Quarz, nur an einer Stelle tritt Magnetkies in vorwiegender Menge auf, wo eine örtlich beschränkte Kontaktzone zwischen Erzlager und einem benachbarten Granit besteht. An dieser Stelle ist das Erz grobkristallin und ist auch in größeren Handstücken von Bodenmaiser Erzproben kaum zu unterscheiden (4).

Die gesamten Pyritanalysen von Lam zeigen eine große Gleichförmigkeit des Verhältnisses Ni : Co zu 1 : 17 bis 1 : 20, von den Analysen abgesehen, in denen das Nickel fehlt, bzw. unter 0,0015 % bleibt. Aber auch in diesen ist der Kobaltgehalt mindestens 5 mal größer als der Nickelgehalt (Analyse 49 vor allem). Bei den Analysen 40 mit 48 handelt es sich um den Pyrit des Kieslagers, der mit Quarz als Gangart ziemlich grobkörnig — etwa bis 0,5 cm Korngröße — vorkommt und meist ohne vorhergehende Trennung analysiert wurde. Die Analysen 48, 49 und 50 stammen von Erzen eines Handstückes, das dem stark metamorphosierten Teil des Kieslagers entstammen dürfte. Der mittel-

körnige Pyrit 48 und der grobkristalline Pyrit 49 unterscheiden sich von den übrigen Lamer Pyritanalysen nicht, dagegen von ist für den Magnetkies ein auffallend hoher Ni-Gehalt festzustellen, der eine Umkehr des Verhältnisses Ni : Co zu 20 : 1 bewirkt. Wenn der Magnetkies durch die Metamorphose aus Pyrit gebildet wurde, muß man eine Anreicherung des Nickels im Magnetkies annehmen, unter gleichzeitiger Abwanderung des Kobalts. Ausführlicher soll auf diese Frage bei der Besprechung der Bodenmaiser Analysen (und auf Seite 22) eingegangen werden, bei denen dieselbe Erscheinung festzustellen ist.

Tabelle 7. Lam

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag	(Pb)
40. Pyrit	0,0015	0,025	0,1	0,5	0,05	0,003	+
41. „	0,0015	0,025	0,1	0,5	0,025	0,006	+
42. „	0,0015	0,05	0,1	0,5	0,05	0,006	+
43. „	0,0015	0,05	0,15	0,3	0,05	0,006	+
44. „	0	0,025	0	0	0,05	0	
45. „	0	0,05	0	0	0,005	0	
46. „ rein	0	0,15	0	0	0,05	0	
47. „	0	0,05	0,15	0,5	0,05	0	
48. „ körnig	0,0015	0,025	0,5	0,01	0,025	0,006	+
49. „ grobkristallin	0	0,01	0	0	0,015	sp.	+
50. Magnetkies grobkristallin	0,014	sp.	0	sp.	0,02	sp.	

Die anderen accessorischen Metalle sind größeren Schwankungen unterworfen, die auch außerhalb des Pyrits in Verunreinigungen beruhen können. Silber scheint wieder mit Blei und Kupfer zu gehen.

Unterried

Mit einer Analyse soll an Lam auch das Kieslager von Unterried angefügt werden, dessen Magnetkies ähnlich wie in Wiersberg (Analyse 14) ein Verhältnis Ni : Co zu 1 : 2,5 zeigt.

Tabelle 8. Unterried

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
51. Magnetkies	0,02	0,05	0	0	0,007	sp.

Bergamtsstollen Bodenmais

An Unterried schließt sich das kleine Magnetkiesvorkommen unter dem Bergamt in Bodenmais an, das früher in einem Versuchsschacht angefahren wurde. Der mit Quarz und Feldspat verwachsene Magnetkies ist mittel- bis feinkörnig und zeigt ein Verhältnis Ni : Co zu 1 : 1,5.

Tabelle 9. Bergamtsstollen

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
52. Magnetkies	0,02	0,03	0	0	0,007	sp.
53. „	0,02	0,03	0	0	0,07	0,004

Der Silberberg bei Bodenmais

Die heute noch gut zugänglichen Aufschlüsse des Kieserzlagers im Silberberg bei Bodenmais (5, 24, 25, 27) gestatteten eine genauere Bearbeitung einer Lagerstätte auf die Verteilung von Nickel und Kobalt hin. Das Nebeneinandervorkommen von Pyrit und Magnetkies

Tabelle 10. Silberberg bei Bodenmais

I	II	Ni	Co	Ni : Co	I	II	Ni	Co	Ni : Co
54.	1	0,013	0,025	1 : 2					
55.	2	0,013	0,015	1 : 1,2					
56.	3	0,016	0,03	1 : 2					
57.	4	0,016	0,025	1 : 1,6					
58.	5	0,026	0,05	1 : 2					
					78.	6	0,007	0,002	3,5 : 1
					79.	7	0,14	0,002	7 : 1
59.	8	0,0016	0,4	1 : 250	80.	8	0,007	0	7 : 1
					8	9	0,007	0,02	1 : 3
60.	10	0,005	0,32	1 : 64	82.	10	0,007	0	7 : 1
61.	11	0,001	0,24	1 : 240	83.		0,007	0,002	3,5 : 1
62.	12	0,016	1,12	1 : 70	84.	12	0,007	0,02	1 : 3
63.	13	0,001	0,6	1 : 600					
					85.	14	0,014	0,001	14 : 1
64.	15	0,01	0,01	1 : 1					
65.	16	0	0,343	1 : 343	86.	6	0,02	0	20 : 1
66.	17	0,0016	0,22	1 : 140	87	17	0,02	0	20 : 1
67.	18	0,0026	0,01	1 : 4					
68.	19	0,0016	0,51	1 : 320					
					88.	20	0,014	0	14 : 1
					89.	21	0,014	0	14 : 1
					90.	22	0,02	0	20 : 1
69.	23	0,001	0,365	1 : 365	91.	23	0,014	0	14 : 1
70.	24	0,01	0,98	1 : 98					
71.	25	0,001	0,098	1 : 98					
					92.	26	0,007	0	7 : 1
					93.	27	0,007	0	7 : 1
72.	28	0,0016	0,32	1 : 200	94.	28	0,014	0	14 : 1
73.	28	0,0016	0,35	1 : 220	95.	28	0,014	0	14 : 1
74.	29	0	0,44	1 : 440					
					96.	30	0,014	0	14 : 1
75.	31	0,001	0,21	1 : 210	97.	31	0,007	0	7 : 1
76.	32	0,001	0,15	1 : 150	98.	32	0,014	0	14 : 1
77.	33	0,001	0,83	1 : 830	99.	33	0,02	0	20 : 1

Anm. zu Tab. 10: I Nr. der Analyse; II Fundstelle (Fig. 1).

— im Großen wie im Handstück — ließ ferner erwarten, der Frage nach der Verteilung der beiden Elemente zwischen diesen Erzen nähertreten zu können, die schon in der Einleitung und bei der Besprechung der Lamer Analysen aufgeworfen wurde.

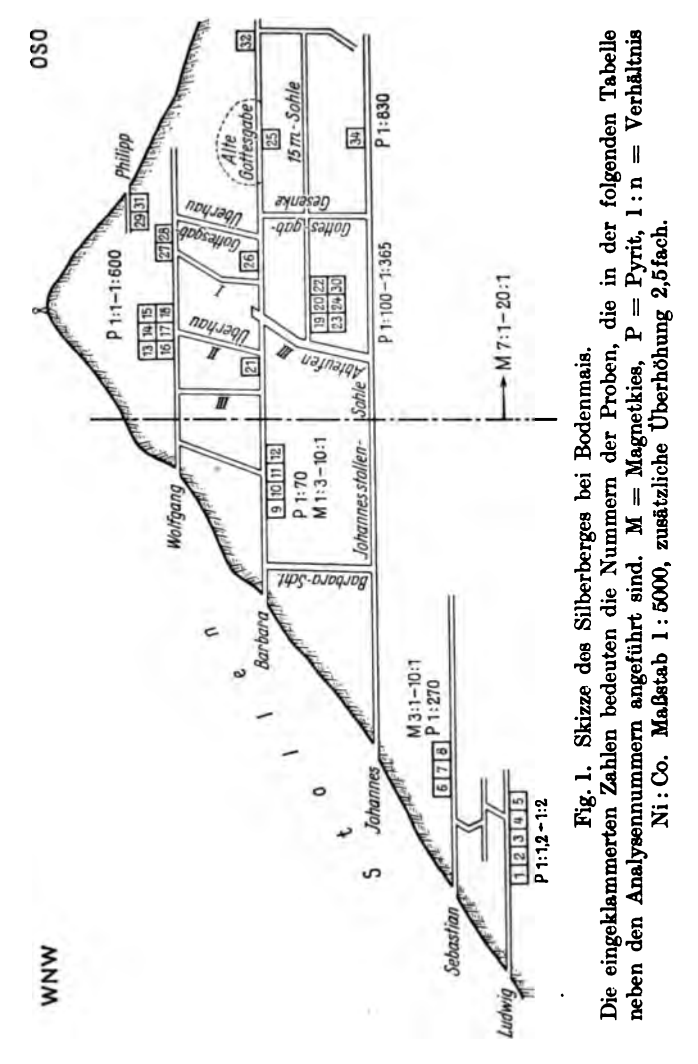


Fig. 1. Skizze des Silberberges bei Bodenmais.
Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Nummern der Proben, die in der folgenden Tabelle neben den Analysennummern angeführt sind. M = Magnetkies, P = Pyrit, 1 : n = Verhältnis Ni : Co. Maßstab 1 : 5000, zusätzliche Überhöhung 2,5fach.

Die folgende Figur zeigt einen Schnitt durch den Bergbau am Silberberg (Fig. 1) mit den Stellen, wo Proben entnommen und analysiert wurden. Es wurde bei dieser Probeentnahme darauf gesehen, auch viele Handstücke zu bekommen, bei denen Pyrit und Magnetkies nebeneinander auftritt.

In folgender Zusammenstellung der Analysenergebnisse des Silberberges bei Bodenmais (Tabelle 10) werden aus Gründen der Über-

sichtlichkeit nur die Werte für Nickel und Kobalt angegeben. Eine Zusammenfassung der Gehalte der übrigen bisher genannten Elemente erfolgt später (S. 16).

Da von einigen Handstücken genaue Angaben über die Fundstelle fehlten, sollen deren Analysenergebnisse in einer gesonderten Tabelle (Tabelle 11) aufgeführt werden.

Tabelle 11[1]. Silberberg bei Bodenmais

	Ni	Co	Ni : Co
100. Pyrit . . .	0,0016	0,29	1 : 182
101. „ . . .	0,01	0,1	1 : 10
102. Magnetkies .	0,007	0	7 : 1
103. „ . .	0,014	0,02	1 : 1,4
104. „ . .	0,007	0,02	1 : 3
105. „ . .	0,014	0,02	1 : 1,4
106. „ . .	0,002	0,007	1 : 3,5
107. „ . .	0,014	0	14 : 1

Zunächst ergibt die Zusammenstellung, daß innerhalb des ganzen Erzlagers ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Pyrit und Magnetkies besteht, was den Gehalt an Nickel und Kobalt betrifft. Der **Pyrit** zeigt bei großen Schwankungen einen fast durchwegs sehr viel höheren Co-Gehalt (S. 5), dessen Werte (Co in FeS_2) von 0,01 bis 1,12 % ansteigen können, während Nickel nur bis zu 0,026 % maximal nachzuweisen ist. Daher ist auch das Verhältnis Ni : Co weitgehend auf die Seite des Kobalts verlagert (S. 24) und beträgt im Höchstfall 1 : 830 (Analyse 77).

Soweit sich aus den bisherigen Analysen ersehen läßt, besteht eine gewisse regelmäßige Verteilung des Ni/Co-Gehaltes innerhalb der verschiedenen Teile des Kieserzlagers. Der Pyrit des Ludwigstollen — ein „junger Pyrit" mit grobkristalliner Ausbildung und heller Farbe — unterscheidet sich auch im Gehalt deutlich vom Durchschnitt der anderen Pyritproben und weist einen durchwegs niedrigeren Co-Gehalt auf (Ni : Co = 1 : 2 bis 1 : 1,2 bei Analysen 54 bis 58 einschl.). Die größten lokalen Schwankungen sind bei den Proben des Wolfgangstollen zu finden (Analyse 63—67 einschl.), unter denen auch ein Pyrit mit gleich viel Ni und Co ist (Analyse 64) [2].

Auch für den **Magnetkies** ist aus den Analysen eine Regelmäßigkeit des Nickel- und Kobaltgehaltes innerhalb des Silberberges zu

[1]) 103, 104, 105 und 106 aus dem Barbarastollen, 107 aus dem Philippstollen. 100, 101 und 102 vom selben Handstück, wobei der Pyrit 101 und der Magnetkies 102 nebeneinander auftreten, während der Pyrit 100 gangförmig ins Nebengestein eindringt, vergesellschaftet mit Zinkblende und Bleiglanz.

[2]) Zwischen den einzelnen Trümern des Lagers läßt sich ein Unterschied in den Analysenwerten nicht feststellen.

ersehen. Im nordwestlich gelegenen Teil des Lagers — in Fig. 1 links des senkrechten Trennungsstriches — schwanken die Gehalte viel stärker als im übrigen Teil; das Verhältnis Ni : Co, das im Silberberg für den Magnetkies durchschnittlich etwa 10 : 1 beträgt, zeigt bei den Analysen 78 mit 84 mehrmals eine Umkehr des Verhältnisses zugunsten des Kobalts. Auch auf die Analysen 103 mit 106 soll aufmerksam gemacht werden, die von Proben aus dem Barbarastollen gemacht wurden. Im anderen nach OSO gelegenen Teil schwankt das Verhältnis nur zwischen 7 : 1 und 20 : 1, immer ist mehr Nickel im Magnetkies enthalten.

In der Übersichtstabelle 10 auf Seite 12 sind die Analysenpaare nebeneinandergestellt, bei denen Pyrit und Magnetkies aus einem Handstück analysiert wurden. Meist berühren sich die beiden Erzarten oder sind so grobkörnig miteinander verwachsen, daß eine Trennung des zerkleinerten Materials (nach S. 2) keine Schwierigkeit bereitete. Nur bei dem Analysenpaar 62/84 zeigt der Magnetkies mehr Co als Nickel als einzige Ausnahme. Möglicherweise ist das auf Verunreinigung durch den hochkobalthaltigen Pyrit desselben Handstückes (Analyse 62) zurückzuführen, von dem schon 2 % genügen würden, um im Magnetkies den Gehalt von 0,02 % Co hervorzurufen. Sonst besitzt der Magnetkies aller dieser Analysenpaare immer mehr Nickel als Kobalt, während der Pyrit das Kobalt in sich angereichert hat.

In den eben genannten 12 Analysenpaaren beträgt das durchschnittliche Verhältnis von Ni : Co für den

Pyrit . . . . 1 : 250 (1 : 10 bis 1 : 830)
Magnetkies . 10 : 1 (mindestens).

Zur Erklärung kann man einmal die gleichzeitige Bildung von Pyrit und Magnetkies aus einem sulfidischen Stoffbestand annehmen, mit annähernd gleichmäßigem Verhältnis Ni : CO zu Fe. Dabei ist die Frage offengelassen, ob es sich um ein primäres gemischtes Sulfidgel oder um eine magmatische beziehungsweise pseudomagmatische Schmelze handelt (5). Bei dem Kristallisationsvorgang, bei dem sich nun Pyrit und Magnetkies nebeneinander bildeten, muß die geochemische Sonderung des Nickels und Kobalts stattgefunden haben, in dem Sinne, daß Nickel sich mehr im Magnetkies und Kobalt mehr im Pyrit verteilte. Dieselbe Sonderung ist als Erklärung der Analysenergebnisse notwendig, wenn sich sekundär aus dem Pyrit unter dem Einfluß einer Metamorphose Magnetkies bildet — unter gleichzeitiger Wegführung von Schwefel. Auch hier scheint nach dem vorliegenden Befund das Nickel leichter in den Magnetkies eingebaut werden zu können, während das Kobalt dann mehr zum Pyrit eine — vielleicht gittermäßige Beziehung besitzt, die dessen Aufnahme im Pyrit erleichtert. Auf diese

Frage wird noch einmal in der Zusammenfassung eingegangen (S. 22), auf die an dieser Stelle verwiesen werden soll.

In den Gehalten der übrigen accessorischen Elemente besteht zwischen Pyrit und Magnetkies kein wahrnehmbarer Unterschied. Erzmikroskopisch ist Zinkblende und Kupferkies in feinster Verteilung im Pyrit und Magnetkies zu finden, während auch in den hochkobalthaltigen Pyriten im Erzmikroskop kein Kobalterz gefunden werden konnte. Nur in wenigen Analysen zeigen sich Spuren von Mangan. Die Werte für Kupfer schwanken zwischen 0 und 1,0 %, der Gehalt an Silber zwischen 0 und 0,05 %. Das Silber steht meist wieder in Abhängigkeit vom Kupfergehalt, kann aber auch mit Bleiglanz als Verunreinigung in das analysierte Erz gelangen (Analyse 83). Wie Analyse 108 von Kupferkies zeigt, ist Silber mit 0,05 % darin enthalten, auch die Zinkblende enthält Silber (Analyse 109 und 110 in Tabelle 12[1])).

Tabelle 12. Silberberg bei Bodenmais

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
108. Kupferkies	0	0	sp.	0,35	—	0,05
109. Zinkblende	0	0	1—2	—	+	0,004
110. „	0	0	1—2	—	+	0,004

Der an einer Stelle des Silberbergs im Pegmatit entstandene Magnetit (5) liefert ziemlich abweichende Werte; eine genaue Untersuchung ist in Zusammenhang mit anderen Magnetitvorkommen geplant.

Kropfmühl

Obwohl die Graphitlagerstätte von Kropfmühl im Passauer Wald nicht unter die eigentlichen Kieslager zu stellen ist, soll eine Besprechung der Analysenergebnisse von Kropfmühler Erzen im unmittelbaren Anschluß an den Silberberg bei Bodenmais erfolgen. A. MAUCHER betont in seiner Arbeit über die Lagerstätte von Kropfmühl (6) die genetische Übereinstimmung der Erze dieser Lagerstätte mit denen vom Silberberg, wobei auch das gemeinsame Vorkommen mit Graphit herangezogen wird[2]). Diese Übereinstimmung auf der Grundlage gleichen Erzbestandes und erzmikroskopischer Untersuchungen erstreckt sich jedoch in keiner Weise auf die Gehalte an accessorischen Elementen und auf das Verhältnis Nickel : Kobalt.

[1]) F. MÜNICHSDORFER (26) gibt in einer Analyse einer Magnetkiesprobe vom Silberberg für Ni, Co, Cu und Ag ebenfalls Werte an, die innerhalb der hier angegebenen Grenzen liegen.

[2]) Sowohl bei Lam wie im Silberberg wurde Graphit gefunden.

Tabelle 13. Kropfmühl

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
111. Pyrit	0,1	0,03	sp.	0	0,01	0
112. „	0,05	0,025	0	0	0,05	0
113. „	0,05	0,2	0	0	0,01	0
114. Magnetkies	0,14	0,02	0	0	0,014	0
115. „	0,14	0,07	0	0	0,014	0,0005
116. „	0,14	0,035	0	0	0,07	0
117. „	0,14	0,04	0	0	0,014	sp.
118. „	0,14	0,04	0	0	0,014	0
119. „	0,14	0,04	0	0	0,07	0
120. Pyrit	0,1	0,04	0	0	0,01	0
121. „	0,15	0,07	sp.	0	0,01	0
122. „ Germannsdorf	0,05	0,025	0	0	0,015	0
123. „ Hinterwiese .	0,015	0,035	0	0	0,01	0

Die Analysen ergeben für Magnetkies durchwegs einen hohen Nickelgehalt von durchschnittlich 0,14 %, bei einem Verhältnis Nickel: Kobalt zu 2 : 1 bis 6 : 1. Pyrit verhält sich verschieden. Das Material zu Analyse 111 ist einem feinkörnigen bis dichten, etwa 1—2 mm breiten Pyritband entnommen, das in Graphit eingelagert ist. Dieses Band läuft der Grenze Graphit/Gneis in 5 mm Entfernung parallel, gegen diese Grenze bildeten sich kleine Pyritkristalle, wozu noch Kupferkies in kleinen Kristallaggregaten von etwa 2 mm Größe hinzukommt. Der folgende Pyrit 112 ist im Graphitgneis bis zu cm-großen Partien angereichert. Beide Pyrite zeigen ein Verhältnis Nickel : Kobalt zu 3 : 1 bzw. 2 : 1 wie Magnetkies. Dagegen kehrt sich das Verhältnis zugunsten des Kobalts bei dem Pyrit 113 um, der mit Magnetkies und grobblättrigem Graphit im Gneis auftritt. Besondere Beachtung verdient das Verhältnis 3 : 1 und 2 : 1 bei den Pyriten (Analysen 120 und 121), die auf wasserführenden Klüften der 8 m-Sohle neugebildet wurden und deren Nickelgehalt mit 0,1 und 0,15 % sehr hoch zu nennen ist (3. Pyritgeneration bei MAUCHER (6)). Bis auf den Pyrit 113, dessen geochemische Sonderstellung an den Magnetkies von Lam (Analyse 50) erinnert, haben also die Erze von Kropfmühl ein Verhältnis Nickel: Kobalt zu mindestens 2 : 1, bei einem ziemlich hohen Nickelgehalt von durchschnittlich 0,1—0,2 %. Diesem Ergebnis schließt sich ein Pyrit aus einem anderen Graphitlager des Passauer Waldes an (Analyse 122), während Pyrit 123, von ähnlichem Vorkommen, einen höheren Kobalt- als Nickelgehalt besitzt, der viel niedriger als in den Kropfmühler Erzen liegt.

Pyritvorkommen außerhalb der Kieslager

Im Gebiet des ostbayerischen Grenzgebirges tritt Pyrit an vielen Fundstellen untergeordnet auf, dessen große Verbreitung ihm be-

zeichnenderweise den Namen „Hans auf allen Gassen" eingetragen hat (18). Die Analysenergebnisse von einigen dieser Pyritvorkommen sollen abschließend zum Vergleich mit den Erzen aus den eigentlichen Kieslagern wiedergegeben werden.

Tabelle 14. Schwarzenbach a. S.

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
124. Pyrit	0,025	0,15	0	0	0,01	0
125. „	0,025	0,01	(sp.)	0	0,05	0
126. „	0,02	0,07	(sp.)	0	0,1	0
127. „	0,03	0,1	0	0	0,3	sp.
128. „	0,5	0,2	0	0	0,02	0

In den Talkbrüchen von Schwarzenbach a. S. findet sich Pyrit in ausgebildeten Würfeln im Grünschiefer (des Südostrandes der Münchberger Gneismasse) verteilt (Analyse 124, 125 und 126) und in tafeligen, verzerrten Kristallen im Serpentin-Talkschiefer (Analyse 127 und 128). Die Verzerrung dürfte mit einer Kristallisation während starker tektonischer Bewegung ursächlich verbunden sein, an die auch die Bildung der Serpentin-Talkschiefer geknüpft ist (28). Während der Durchbewegung und damit zeitlich zusammenhängenden Serpentinisierung war der Stoffbestand des magnesiumreichen Gesteins, zu dem auch ein Nickelgehalt von 0,3 % gehört, sicher sehr beweglich. Dabei konnte sich bei gleichzeitiger Umbildung oder Neubildung des Pyrits das Nickel im Sulfid anreichern, was zu dem bemerkenswert hohen Nickelgehalt von 0,5 % Ni in dem Pyrit 128 führte (siehe auch G. Berg (29), Seite 210).

Tabelle 15. Fichtelberg

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
129. Pyrit	0,015	0,1	0	0	0,005	0
130. „	0,01	0,2	0	0	0,001	0
131. „	0,015	0,1	0	0	0	0
132. „	0,01	0,2	0	0	0,0015	0,0006
133. „	0,015	0,25	0	0	0,0015	0
134. „	0,025	0,1	0	0	0	0

Die Eisenglimmergänge von Fichtelberg i. Oberfranken führen ebenso wie der dortige Eisenglimmergranit Pyrit in kleinen, glänzenden Kristallen und in derben, größeren Partien. Die Analysen ergeben einheitlich für alle Pyrite ein Verhältnis Nickel: Kobalt zu 1 : 4 bis 1 : 20. Der Eisenglimmer ist nach Analysen von A. Weber, Graz, nahezu frei von den beiden Elementen.

Tabelle 16. Wunsiedel

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
135. Pyrit	0,015	0,025	0	0	0	0

Pyrit ×× aus metamorphem Marmor.

Tabelle 17. Goldkronach

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
136. Pyrit	0	0,0015	0	0	0,0015	sp.

Pyrit aus den Goldquarzgängen von der Fürstenzeche bei Goldkronach (intrusiv-hydrothermale Lagerstätte (30)).

Tabelle 18. Wölsendorf

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
137. derb, aus Flußspat	0,015	0,015	0	0	0,02	0,006
138. derb, aus dunklem Flußspat	0,015	0,015	0	0	0,05	0,002
139. stalaktitenartig . .	sp.	0	0,025	0	0	0
140. „ . .	0	0	0,01	0	0	0

Die verschiedene Bildungsweise der Pyrite kommt in den Gehaltsunterschieden gut zum Ausdruck. Während die beiden ersten Pyrite (Analyse 137 und 138) in Flußspat eingewachsen sind, sind die beiden letzten (Analyse 139 und 140) eine ganz junge Neubildung von stalaktitenähnlicher Form. Letztere zeigen weder Nickel noch Kobalt in nachweisbarer Menge, jedoch Mangan zu 0,01—0,025 %. Ein Vergleich mit den ebenfalls sekundären Pyriten von Kropfmühl (Analyse 120 und 121), die denselben Gehalt an Nickel und Kobalt wie der Pyrit aus dem Graphitgneis (S. 17) aufweisen, zwingt hier zur Annahme zumindest verschieden temperierter Lösungen, die bei Wölsendorf zu einer Trennung des Eisens vom Nickel und Kobalt geführt haben müssen. Bei beiden Pyritvorkommen handelt es sich ja um umgelagerte Pyrite.

Tabelle 19. Bischofsmais

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
141. Pyrit	0,05	0,0025	0	0	0,025	0

Pyrit aus dunklem Biotit-Hornfels von Bischofsmais südlich Bodenmais im Bayerischen Wald. Die Chloritisierung des Hornfelses in der Umgebung des Pyrits, der grobkristallin auftritt, spricht für hydrothermale Bildungsweise (ähnlich wie in Lam (4, S. 185 und 186)).

Tabelle 20. Fürstenberg

	Ni	Co	Mn	Zn	Cu	Ag
142. Pyrit	0,01	0,75	0	0	0,05	0
143. „	0,005	0,5	0	0	0,05	0,0006
144. Kupferkies	0	0,007	0	0	—	0,004

Das letzte untersuchte Vorkommen ist ein Pyrit aus einem hydrothermalen Quarzgang im Granit von Fürstenberg (Passauer Wald). Manchmal bildet sich am Rand des Pyrits gegen den Quarz Kupferkies und Buntkupfererz in einem etwa mm-breiten Band, dessen Analyse in 144 wiedergegeben ist. Der Silbergehalt ist niedriger als der anderer Kupferkiese (Analyse 12, 13 und 108).

Zusammenfassender Überblick über die Analysen

In der Einleitung wurde an die Eignung speziell des Verhältnisses Nickel : Kobalt — als Leitelemente — die Forderung geknüpft, daß zumindest eine Erzart eines Kieserzlagers, soweit sie einer Bildungsphase angehört, eine gewisse Konstanz dieses Verhältnisses haben muß. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, verschiedene Erzgenerationen, gleich welcher Bildungsweise, auseinanderhalten zu können.

Sollten ferner zwei oder mehr Lagerstätten auf geochemischer Grundlage durch Leitelemente genetisch miteinander verglichen werden können, müßten sie auf Grund des allgemeinen Verhaltens der Leitelemente bei gleicher Genese ein zumindest sehr ähnliches Verhältnis haben, verschiedene Genese sollte in einer Verschiedenheit des Verhältnisses zum Ausdruck kommen. Durch Erfüllung dieser Bedingungen würde dann die Möglichkeit geboten werden, aus dem Stoffbestand des Kieslagers — speziell an einigen Leitelementen — auf die Genese schließen zu können.

Im folgenden sollen die Analysenergebnisse im Hinblick auf diese genannten Bedingungen besprochen werden. In Tabelle 21 wird zunächst noch einmal zusammenfassend das Verhältnis Nickel : Kobalt für die untersuchten Kieserzlager des ostbayerischen Grenzgebirges wiedergegeben. Nach Möglichkeit blieben dabei jüngere (rein gangförmige oder bestimmt umgelagerte) Erze unberücksichtigt. Nur bei Bodenmais wurde von einer Trennung in primäre und sekundäre bzw. später zugeführte Erze abgesehen.

Nur in einigen der untersuchten Kieslager — Lam, Sparneck und vielleicht noch das Vorkommen am Bergamt in Bodenmais — ist die geforderte Konstanz des Verhältnisses Nickel : Kobalt gegeben, soweit aus vorliegenden Analysen zu entnehmen ist. Ein Vergleich zwischen ihnen zeigt jedoch — bei Annahme gleicher Bildungsweise —, daß der Gehalt an accessorischen Elementen, wie Nickel und Kobalt, in jedem

Kieslager wesentlich verschieden ist. Selbst innerhalb der anderen Kieslager unterliegt das Verhältnis Nickel : Kobalt jeweils größten Schwankungen, die eine Deutung gleicher Genese auf Grund chemischer Übereinstimmung nicht erlauben.

Tabelle 21[1]). Zusammenfassung

Kieslager	Erz	Analysen	Ni : Co	Ausnahmen
Kupferberg	P	9	1 : 1,6—1 : 33	—
Wiersberg	P, M	2, 1	1 : 2—1 : 4	—
Sparneck	P	3	1 : 1	—
Pfaffenreuth	P	8	1 : 3—1 : 100	3 : 2
Lam	P	10	1 : 17—1 : 20	—
Unterried	M	1	1 : 2,5	—
Bergamtsstollen, Bodenmais . .	M	2	1 : 1,6	—
Silberberg, Bodenmais	P, M	P 26	1 : 1—1 : 830	—
		M 28	20 : 1—1 : 3	
Kropfmühl	P, M	13	6 : 1—2 : 1	1 : 2,3 u. 1 : 4
Hydrothermale Pyrite	P	19	20 : 1—1 : 100	—

Die zum Vergleich angeführten Analysen hydrothermal gebildeter Pyrite zeigen ein Überschneiden des Verhältnisses Nickel : Kobalt mit fast allen Werten, die innerhalb der untersuchten Kieslager gefunden wurden. Auch die Absolutgehalte stimmen mit Werten aus den Kieslagern überein[2]).

Ursachen der Gehaltsschwankungen

Über die Ursachen der großen Schwankungen des Gehaltes an Nickel und Kobalt in den sulfidischen Eisenerzen lassen sich folgende Aussagen machen, die natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben können.

Zunächst sollen Lagerstätten gleicher Bildungsweise miteinander auf die Herkunft ihres Stoffbestandes hin verglichen werden. Selbst bei nächster räumlicher Nachbarschaft von Eisensulfidanreicherungen und geringer zeitlicher Differenz der Enstehung können in dem Ausgangsmaterial von vornherein Unterschiede bestehen. Man braucht bei der Entstehung von sedimentären syngenetischen Lagerstätten nur an die Einzugsgebiete denken. Ferner können für die genannten Schwan-

[1]) In der Rubrik bedeutet P = Pyrit, M = Magnetkies als Haupterz eines Kieslagers, das bei der Tabelle berücksichtigt wurde.

[2]) Es liegt außerhalb des Bereiches vorliegender Arbeit, zur Genese der Kieslager eine Aussage zu machen, da hierzu ein Vergleich mit anderen Kieslagern und Pyritvorkommen erforderlich ist, über deren Bildungsweise bestimmte Anhaltspunkte vorliegen. Hier sollten aber ausschließlich die Kieslager des ostbayerischen Grenzgebirges behandelt werden. Trotzdem glaube ich bei der Besprechung der Ursachen der Schwankungen im Verhältnis Nickel : Kobalt zu einer Verallgemeinerung berechtigt zu sein.

kungen verschiedene Ausfällungsbedingungen chemischer und physikalischer Natur verantwortlich sein, wie beispielsweise für eine hydrothermale Erzzufuhr außer dem gegebenen Stoffbestand in demselben Sinne noch Druck und Temperatur maßgebend sind. Es soll an dieser Stelle auf die Arbeit von E. BADER hingewiesen werden (31), der die Frage des Gehaltes an accessorischen Elementen in einer Lagerstätte am Beispiel des Vanadiumgehaltes im Graphit eingehend behandelt und ähnliche Gründe angibt, die zu einer verschieden großen Anreicherung eines „Leitelementes" in einer Lagerstätte führen können.

Es wird sich dabei oft schwer entscheiden lassen, ob die Unterschiede im primären Stoffbestand oder in einer späteren Stoffzufuhr begründet sind, die ersteren verändert. Vor allem dann, wenn die spätere Nachlieferung zeitlich nicht allzulange von der primären Bildung entfernt ist und dieselbe Genese besitzt. Eine Umkristallisation kann ja zu einer Vereinheitlichung und zu einer Veränderung des Stoffbestandes führen.

Zur Sonderung von Nickel und Kobalt

Infolge der besonders großen Kristallisationsfähigkeit des Pyrits kann in den meisten Sulfidlagerstätten und sonstigen Vorkommen Umlagerung und Neubildung von Pyrit erfolgen. Eine mehr oder weniger starke Metamorphose der Kieslager ist fast an allen untersuchten Lagern nachzuweisen, vor allem in Lam, Bodenmais am Silberberg und in Kropfmühl, unter deren Einfluß der Pyrit teilweise zu Magnetkies umgewandelt, teils aber mobilisiert und an anderen Stellen abgelagert wurde. Bei dieser Umkristallisation kommt es meist zu einer Sonderung und Reinigung der Erze.

Diese Umlagerung kann im Falle des Nickel/Kobalt zu einer weitgehenden Trennung dieser beiden Elemente führen, wenn Pyrit und Magnetkies nebeneinander vorkommen, beziehungsweise sich bei der Metamorphose des Kieslagers nebeneinander neu bilden[1]). Durch Annahme einer derartigen Stoffsonderung ist zu erklären, warum bei einer Paragenese von Pyrit und Magnetkies im Silberberg bei Bodenmais sich das Kobalt bis 1,0 % im Pyrit angereichert hat, während in fast allen Fällen der Magnetkies einen Kobaltgehalt hat, der unter der Nachweisbarkeitsgrenze von 0,0015 % liegt. Im folgenden sollen zusammenfassend 12 Analysen vom Silberberg wiederholt werden, bei denen aus einem Handstück Pyrit und Magnetkies getrennt und analysiert wurden.

Wie die 12 Analysenpaare zeigen, verhält sich das Nickel dann gegensätzlich wie das Co und „geht lieber" in den Magnetkies. Nur

---

[1]) Unter „nebeneinander" verstehe ich in diesem Zusammenhang eine direkte Berührung beider Erze im Handstück.

eine Ausnahme wurde hierzu gefunden (Analyse 84 in Tab. 10); der Magnetkies des Handstücks hat Ni : Co zu 1 : 3, der Pyrit den höchsten gefundenen Kobaltgehalt von 1,12 % (siehe S. 15). Die übrigen nicht in der Tabelle 22 angeführten Magnetkiesanalysen vom Silberberg zeigen ein wechselndes Verhältnis Nickel : Kobalt, das von 20 : 1 bis 1 : 3 schwanken kann. Der Grund für einen höheren Kobaltgehalt im Magnetkies liegt dann nach dem Gesagten in einer unvollständigen Stoffsonderung, In dem gesamten Stoffbestand des Silberbergs bei Bodenmais lag anfänglich durchwegs mehr Kobalt als Nickel vor, wie ein Durchschnitt aller Bodenmaiser Analysen zeigt.

Tabelle 22. Silberberg

Erzart	Ni	Co	Durchschnitt Ni : Co
Pyrit	0—0,016	0,1—0,87	1 : 250 (1 : 10—1 : 830)
Magnetkies	0,007—0,02	0 (—0,002)	mindestens 10 : 1

Kommt der Magnetkies (im Handstück) ohne Pyrit vor und bildet das Haupterz eines Kieslagers, wie in Unterried und im Bergamtsstollen in Bodenmais, dann besitzt er mehr Kobalt als Nickel (Übersichtstabelle 21 und S. 11).

Ein ähnlicher Befund ist in Lam festzustellen, dessen Magnetkies (aus dem metamorphosierten Teil des Lagers (Analyse 50, S. 11)) eine Umkehr des Verhältnisses zu 20 : 1 zeigt, während der Pyrit (Analyse 49) wie auch das übrige Erz (Pyrit) des Kieslagers Nickel : Kobalt im Verhältnis 1 : 20 besitzt.

Bei der Besprechung der Analysenergebnisse von Kropfmühl wurde auf Seite 17 gezeigt, daß bei einem Verhältnis von Nickel : Kobalt zu 2 : 1 bis 6,6 : 1 im dortigen Pyrit und Magnetkies in einem Fall (Analyse 113) ein höherer Kobaltgehalt im Pyrit festzustellen war. Da der Pyrit im Handstück neben Magnetkies vorkommt, ist auch hier die Erklärung durch eine Stoffsonderung in demselben Sinne möglich wie in Bodenmais und in Lam. Dafür könnte auch der niedrige Kobaltgehalt im Magnetkies (Analyse 114, siehe auch Tabelle 23) sprechen, der halb so groß ist wie der der übrigen Magnetkiesanalysen von Kropfmühl.

Tabelle 23. Kropfmühl

	Ni	Co
113. Pyrit	0,05	0,20
114. Magnetkies	0,14	0,02

Zur Geochemie von Nickel und Kobalt

Für das durchschnittliche Verhältnis von Nickel : Kobalt in der uns bekannten Erdrinde nimmt man nach älteren Daten 12 : 1

(NODDACK 1934) und nach der neuesten Angabe von V. M. GOLDSCHMIDT (32) 2,5 : 1 an, bei einem Absolutgehalt von 0,01 % Nickel und 0,004 % Kobalt (ebenfalls 32). Nach vorliegender Arbeit läßt sich in den sulfidischen Erzlagerstätten des ostbayerischen Grenzgebirges für eine überwiegende Anzahl von Erzproben eine Umkehr dieses Verhältnisses feststellen, die mit einer oft bedeutenden Anreicherung des Kobalts gegenüber dem Nickel verbunden ist. Lokal führt diese Anreicherung bis zu einem Kobaltgehalt von 1,12 % in einem Pyrit von Bodenmais (Analyse 62) und zu einem maximalen Verhältnis von 1 : 830 zugunsten des Kobalts, ebenfalls in einem Pyrit des Silberberges bei Bodenmais (Analyse 34). Auch bei hydrothermal entstandenen Pyriten ist das Verhältnis zugunsten des Kobalts verschoben. Nur ein Pyrit aus einem ziemlich biotitreichen dunklen Hornfels hat ein Verhältnis Nickel: Kobalt zu 20 : 1. Die Gründe für die Verschiebung des Verhältnisses auf die Seite des Nickels in Magnetkiesanalysen vom Silberberg bei Bodenmais wurden schon dargelegt (S. 22). Sonst ist auch für die Kieslager, die vorwiegend bis ausschließlich aus Magnetkies bestehen, (Wiersberg, Unterried, Bergamtsstollen in Bodenmais) ein höherer Kobaltgehalt nachzuweisen.

Es soll an dieser Stelle noch einmal an die Sonderstellung der Eisensulfide der Graphitlagerstätte von Kropfmühl erinnert werden (S. 17 und 23). Der Grund dafür kann nach Seite 22 nur in einem höheren Nickelgehalt des Ausgangsmaterials liegen.

Mangan, Zink, Chrom, Kupfer und Silber

Ob dem Mangan als Leitelement (8) eine Bedeutung zukommt, kann hier nicht entschieden werden. Meist liegen die Mangangehalte unter 0,01 % und konnten daher nicht mehr nachgewiesen werden (S. 4).

Zink und Kupfer sind in den meisten Erzen enthalten, als Kupferkies und Zinkblende, die infolge feinster Verteilung nicht vom Pyrit oder Magnetkies abgetrennt werden konnten.

Der Silbergehalt zeigt in den meisten Erzanalysen eine Abhängigkeit vom Cu-Gehalt, worauf schon bei der Besprechung der einzelnen Erzlagerstätten hingewiesen wurde (S. 7, 9). In reinen Kupfererzen, Kupferkies und Buntkupfererz, erfährt der Silbergehalt eine Anreicherung, die annähernd parallel dem Cu-Gehalt der Erze geht. Nicht unbedingt hat jedoch ein Cu-Gehalt in Pyrit oder Magnetkies einen Silbergehalt zur Folge.

Die Analysen von Pfaffenreuth (S. 9) und Lam (S. 11) ergaben ferner eine Abhängigkeit des Silbergehaltes von anwesendem Blei, was im Silbergehalt beigemengten Bleiglanzes eine Erklärung findet (nach C. DOELTER beträgt der durchschnittliche Silbergehalt im Bleiglanz 0,01 bis 0,03 % (18)).

Chrom ist nur in den Magnetkiesvorkommen des Gabbroamphibolitgebietes von Neukirchen am Hl. Blut vorhanden (S. 10). Im übrigen fehlt das Chrom in den sulfidischen Erzlagern des genannten Gebietes und wurde deshalb aus den Tabellen weggelassen.

Zusammenfassung

Nach der von Mannkopff und Peters entwickelten spektralanalytischen Bestimmungsmethode wurde die Verteilung von Nickel und Kobalt, daneben von Mangan, Zink, Chrom, Kupfer und Silber in den sulfidischen Erzen der Kieserzlager des ostbayerischen Grenzgebirges untersucht.

Dabei wurden speziell für den Nickel- und Kobaltgehalt und das gegenseitige Verhältnis dieser beiden Elemente selbst innerhalb der meisten Kieserzlager große Schwankungen festgestellt. Ebenso bestehen zwischen den einzelnen Vorkommen Unterschiede.

Die beiden Metalle sind nach dem Ergebnis nicht ohne weiteres als Leitelemente für die Genese der ostbayerischen Kieserzlagerstätten geeignet.

Als Gründe für die Schwankungen werden besprochen:

1. Unterschiede im primären Stoffbestand einer Lagerstätte.
2. Spätere Erzzufuhren, die sich vom primären Erzbestand nicht immer trennen lassen, vor allem, wenn eine weitgehende Durchdringung des Lagers stattgefunden hat.
3. Metamorphose und damit verbundene Umkristallisation führt in mehreren Fällen zu einer Sonderung von Nickel und Kobalt. Kommt dabei Pyrit und Magnetkies nebeneinander vor, reichert sichdas Kobalt im Pyrit, das Nickel im Magnetkies an.

Diese eben genannte Anreicherung führt in Bodenmais bei im allgemeinen schwankenden Werten zu einem maximalen Kobaltgehalt im Pyrit von 1,12 %. Das Verhältnis Nickel : Kobalt kann ebenso bis zu 1 : 830 zugunsten des Kobalts verschoben werden.

In den meisten der untersuchten Kieserzlager (Pyrit, Magnetkies) und hydrothermalen Pyritvorkommen des ostbayerischen Grenzgebirges ist der Gehalt an Kobalt höher als an Nickel. Dies bedeutet gegenüber dem Durchschnittsgehalt in der bekannten Erdrinde eine sowohl relative wie absolute Anreicherung des Kobalts gegenüber dem Nickel.

Die Verteilung der anderen genannten Elemente zeigt ebenfalls große Schwankungen.

Der Silbergehalt läßt eine Abhängigkeit vom Gehalt an Kupfer und Blei erkennen.

Schrifttum

1. HEGEMANN, F., Über die Entstehung der sulfidischen Erzlager des ostbayerischen Grenzgebirges. Fschr. d. Min. 21. Bd., S. 54 (1937).
2. — und IBACH, R., Über die Kieslagerstätte von Kupferberg in Oberfranken. Metallwirtsch. XV, Nr. 21, S. 463 (1936).
3. —, Über die Kieslagerstätten von Sparneck. Metallwirtsch. XVI, Nr. 29, S. 719 (1937).
4. — und MAUCHER, A., Die Entstehung der Kieslagerstätte bei Lam im Bayerischen Wald. Chem. d. Erde, 9. Bd., H. 2, S. 173 (1934).
5. — —, Die Bildungsgeschichte der Kieslagerstätte im Silberberg bei Bodenmais. Abh. d. Geol. Landesuntersuchung a. Bayer. Oberbergamt, H. 11 (München 1933).
6. MAUCHER, A., Die Entstehung der Passauer Graphitlagerstätten. Chemie d. Erde, 10. Bd., H. 4, S. 539 (1936).
7. GOLDSCHMIDT, V. M., Geochemische Leitelemente. Naturw. XX, H. 51, S. 947 (1932).
8. HEGEMANN, F., Erzmikroskopische und geochemische Untersuchungen zur Bildungsweise der Kieslagerstätte Öblarn (Steiermark). Fschr. d. Min. erscheint Ende 1938 — Anfang 1939.
9. MANNKOPFF, R. und PETERS, CL., Über quantitative Spektralanalyse mit Hilfe der negativen Glimmschicht im Lichtbogen. Zeitschr. Phys. 70. Bd., S. 444 (1931).
10. GOLDSCHMIDT, V. M. und PETERS, CL., Zur Kenntnis der Troilitknollen der Meteoriten. Nachr. von der Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, Fachgr. III, Nr. 36 (1933).
11. ERNST, TH. und HÖRMANN, H., Bestimmung von Vanadium, Nickel und Molybdän im Meerwasser. Nachr. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, Fachgr. IV, Neue Folge, Bd. 1, Nr. 16 (1936).
12. SIEMEISTER, W., Versuche über quantitative Spektralanalyse. Zschr. Anal. Chem., Bd. 105, H. 1/2 (1936).
13. BADER, E., Vanadin in organogenen Sedimenten II. Spektralanalytische V-Bestimmungen im Passauer Graphit. Zbl. Min. Abt. A, Nr. 9, S. 279 (1937).
14. MAUCHER, A., Zur Arbeit (13). Zbl. Min. Abt. A, Nr. 3, S. 89 (1938).
15. KAISER, H., Grundriß der Fehlertheorie. Zschr. Techn. Phys. XVII, H. 7, S. 219 (1936).
16. BRAND, H., Die Kupferlagerstätte bei Kupferberg i. Oberfranken mit besonderer Berücksichtigung ihrer Beziehungen zur Münchberger Gneismasse. Geogn. Jahresh. S. 1—102 (1921).
17. WURM, A., Zur Genese der Kieslagerstätte von Kupferberg in Oberfranken. Geogn. Jahresh. S. 53 (1927).
18. DOELTER, C., Handbuch der Mineralchemie Bd. 4, 1 (1926).
19. CISSARZ, A., Quantitativ-spektralanalytische Untersuchung eines Mansfelder Kupferschieferprofils. Chem. d. Erde, Bd. V, S. 48 (1930).
20. GÖTTE, A., Die Kieslagerstätten bei Sparneck im Fichtelgebirge unter besonderer Berücksichtigung ihrer Genesis. N. Jb. f. Min. B.-B. 59, Abt. A, S. 95 (1929).
21. BUSCHENDORF, F., Aufschlußarbeiten im bayerischen Erzbergbau auf Nichteisenmetalle und ihre weiteren Entwicklungsmöglichkeiten (zu Pfaffenreuth). Met. und Erz XXXIII, H. 1 (1936).
22. WURM, A., Über ein größeres Schwefelvorkommen als Neubildung in der Zementationszone der Schwefelkieslagerstätte von Pfaffenreuth bei Waldsassen in Bayern. Zschr. prakt. Geol. XXXV, H. 9 (1927).
23. FISCHER, G., Die Gabbroamphibolitmasse von Neukirchen a. hl. Blut und ihr Rahmen. N. Jb. f. Min., B.-B. 60, Abt. A, S. 251 (1929).
24. GÜMBEL, C. W., Geognostische Beschreibung des ostbayerischen Grenzbebirges. Gotha (1868).
25. WEINSCHENK, E., Die Kieslagerstätte im Silberberg bei Bodenmais. Abh. bayer. Ak. d. Wiss. II. Cl., 21, II. Abt. (München 1901).
26. MÜNICHSDORFER, F., Mineralogisch-petrographische Studien am Silberberg bei Bodenmais. Dissertation München (1908).

27. DESSAU, G., Einiges über Bodenmais. N. Jb. f. Min. B.-B. 66, Abt. A., S. 381 (1933).
28. WURM, A., Fichtelgebirge und Frankenwald. Sammlg. geol. Führer, Bd. 31, Berlin (1925).
29. BERG, G., Vorkommen und Geochemie der mineralischen Rohstoffe. Leipzig 1929.
30. BUSCHENDORF, F., Die primären Golderze des Hauptganges bei Brandholz im Fichtelgebirge unter besonderer Berücksichtigung ihrer Paragenesis und Genesis. N. Jb. f. Min., B.-B. 62, Abt. A, S. 1 (1930).
31. BADER, E., Vanadin in organogenen Sedimenten I. Zbl. f. Min., Abt. I, Nr. 6, S. 164 (1937).
32. GOLDSCHMIDT, V. M., Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente IX, Oslo (1938).

Vorliegende Arbeit wurde am Mineralogisch-Geologischen Institut der Technischen Hochschule München mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgeführt, der hier der Dank ausgesprochen werden soll.

Ferner danke ich dem Institutsleiter, Herrn Prof. Dr. H. STEINMETZ, für seinen Rat und seine Hilfe und Herrn a. o. Prof. Dr. F. HEGEMANN für die Anregung zu dieser Arbeit und seine tatkräftige Förderung. Auch Herrn Prof. Dr. G. SCHEIBE vom Physikalisch-chemischen Institut der Technischen Hochschule München soll an dieser Stelle für die Überlassung des benutzten Spektrographen und seinen Rat gedankt werden.

München, im Dezember 1938.

Über das LUMMER-Phänomen auf der Anode des Kohlelichtbogens und die Temperatur des Anodenkraters [1)]

Von HEINZ STEINLE, Göttingen

Mit 30 Textfiguren

Inhalt

I. Untersuchungen am positiven Krater des Kohlelichtbogens im Anschluß an das LUMMER-Phänomen (Arbeiten im Unterdruck)

1. Problem und Fragestellung

Nach den Arbeiten von LUMMER über „Die Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur" (1) ist der positive Krater der Gleichstrombogenlampe im Druckintervall von $^1/_5$ bis 2 Atm. unterhalb einer gewissen spezifischen Belastung mit einer dünnen Schicht geschmolzenen Kohlenstoffes überzogen. Dieser Grenzwert der Stromstärke liegt unter der üblichen „Normalbelastung". Der positive Krater zeigt dann eine wabenartige Struktur mit helleren, kurz aufblitzenden Individuen, den „Fischen". Diese Erscheinung der „Fische" und „Waben" nannte LUMMER den „leichtflüssigen Zustand" des Kohlenstoffes. Sie soll weiterhin kurz als das LUMMER-Phänomen bezeichnet werden. Die Ausdrücke „Fische und Waben" sollen beibehalten werden.

[1)] Göttinger Dissertation, vorgetragen auf der Gauvereinstagung der Deutschen physikalischen Gesellschaft in Hamburg am 4. Februar 1939.

Die Schlußfolgerung LUMMERS, daß dies Phänomen den flüssigen Zustand des Kohlenstoffes darstelle, wurde schon gelegentlich seines Vortrages über diese Versuche und auch nach Veröffentlichung der Arbeiten Gegenstand vieler Debatten für und wider, jedoch ist über eine experimentelle Nachprüfung nichts bekannt geworden. Dieser Prüfung dienten die im folgenden beschriebenen Experimente. In erster Linie galt es also, das Wesen der Fische und Waben zu ergründen. Über deren Wesen sagt LUMMER in seiner Veröffentlichung wörtlich folgendes (2):

„Für die Hypothese, daß die Fische Graphitkristalle sind, sprechen meines Erachtens die folgenden Gründe. Erstens die meist sechseckige Gestalt der Waben, die wir gemäß meiner Hypothese als Kristallisationsbett anzusehen haben, und die meist sechseckige Gestalt der aus diesen Waben losgeschmolzenen Fische. Von den drei bekannten Modifikationen des Kohlenstoffes kristallisiert allein der Graphit als hexagonale Blättchen im monoklinen System aus.

Zweitens wissen wir vom Graphit, daß er metallisch absorbiert, so daß er, wenn wir das KIRCHHOFFsche Gesetz von der Emission und Absorption zu Rate ziehen und annehmen, daß der Graphit auch im hocherhitzten Zustande gleich stark absorbiert wie bei gewöhnlicher Temperatur, bei hoher Temperatur gut emittieren und stark leuchten muß. Es wäre dadurch die viel größere Helligkeit der Fische im Vergleich zu derjenigen des flüssigen Kohlenstoffes erklärt, welcher entsprechend seiner größeren Durchsichtigkeit trotz seiner höheren Temperatur nach dem KIRCHHOFFschen Gesetz dennoch entsprechend viel weniger leuchten muß als die festen Graphitkristalle."

Die Fische bewegen sich nach LUMMER ein kurzes Stück, setzen sich dann wieder in einer anderen Wabe fest und schmelzen. Daß die Größe der Fische und Waben dem Druck umgekehrt proportional ist, stellte LUMMER lediglich fest, ohne eine Erklärung dafür zu geben.

Folgende zwei Fragen sollten also durch die Experimente beantwortet werden:

1. Was sind die Fische und die Waben?
2. Ist das LUMMER-Phänomen der Schmelzvorgang des Kohlenstoffes oder nicht; und wie ist es sonst zu erklären?

2. Versuchsanordnung

Der Aufbau der Apparatur war im Prinzip der gleiche, wie ihn LUMMER in Breslau zu seinen Versuchen über „die Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur" benutzte. Eine in der Werkstatt des hiesigen Mineralogisch-Petrographischen Institutes gebaute selbständig regulierende Bogenlampe, die wegen der starken Wärmeentwicklung in dem Behälter und hoher Strombelastungen besonders robust gebaut war, brannte in einem Druckbehälter (Fig. 1), der bis 20 Atm. geprüft war. Mittels 14 Schrauben wurde die Rückplatte, durch welche druckdicht und isoliert die Stromzuleitungen eingeführt waren, mit dem Behälter verschraubt. Als Dichtung diente eine 3 mm dicke Gummiplatte. Die Bogenlampe war auf einem U-Profiltisch, der an die Rückplatte angeschweißt war, montiert und konnte so mit der Platte, die mit zwei Griffen versehen war, herausgenommen werden. Um ein zu starkes Erhitzen des Behälters und seines Gasinhaltes zu verhindern, war noch eine Wasserkühlung auf den Behälter aufgelötet worden. Mittels eines drehbaren Konusschliffes konnte die Lampe von außen durch Berühren der beiden Kohlen gezündet werden. Der Krater der positiven horizontalen Kohle brannte in 110 mm Abstand von einer planparallelen Quarzplatte von 12 mm Dicke und 60 mm Durchmesser, die mittels einer Verschraubung in der vorderen festen Wand des Behälters, mit Klingerit gedichtet, befestigt war.

Durch dieses Fenster konnte der Krater entweder direkt betrachtet werden, oder aber durch ein Zeiss Tessar 1 : 4,5, Brennweite 13,5 cm auf einen Projektions-

schirm in etwa 50facher Vergrößerung abgebildet werden. Dieses Bild wurde dann betrachtet oder photographiert. Das Tessar saß auf einem Mikrometerschlitten, der durch einen umpolbaren Elektromotor angetrieben wurde, der wiederum vom Projektionsschirm aus bedient werden konnte.

Zwei Hähne am Behälter gestatteten das Auspumpen oder Füllen des Behälters mit verschiedenen Gasen. Auf dem Behälter konnte ein unverkürztes Hg-Manometer für Unterdruck oder ein Überdruckmanometer über einen Dreiwegehahn angeschlossen werden.

Sämtliche Stromzuführungen zur Bogenlampe und diese selbst waren so bemessen, daß die Lampe auch bei Dauerbetrieb mit Strömen bis zu 35 Amp. belastet werden konnte.

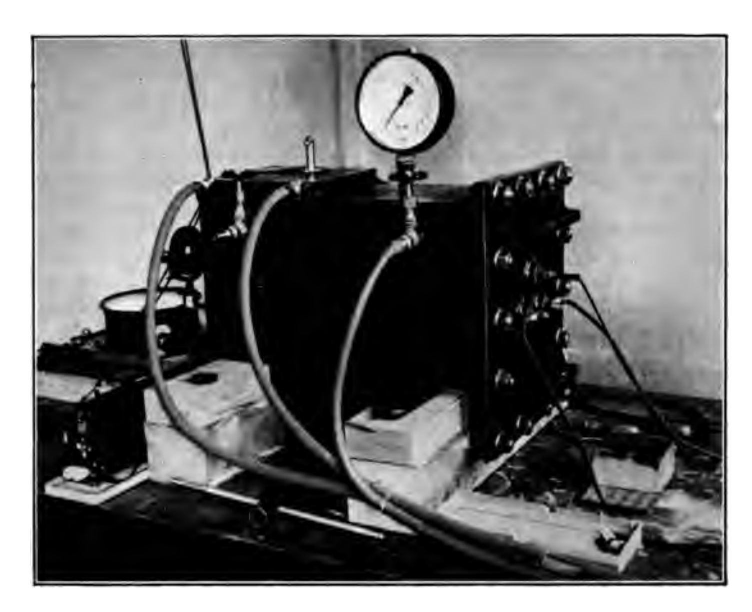


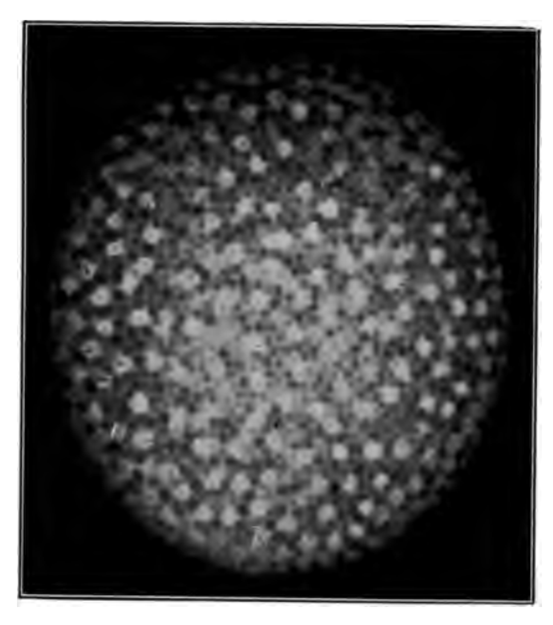
Fig. 1. Druckbehälter von 30 Liter Inhalt.

8. Bewegung und Lebensdauer der Fische

Beim Betrachten des LUMMER-Phänomens in 50facher Vergrößerung auf dem Projektionsschirm glaubte ich feststellen zu können, daß sich die Fische entgegen der Ansicht von LUMMER nicht bewegen (3), sondern daß diese Bewegung durch kurzes Aufblitzen dicht nebeneinander und zeitlich kurz hintereinander vorgetäuscht wurde. Eine Auflösung mit dem Auge war jedoch nicht möglich.

Würden sich die Fische bewegen, so müßten sie bei längeren Belichtungszeiten, als ihre Lebensdauer beträgt, als helle Streifen erscheinen. Wie sich beim Betrachten und auf sämtlichen Momentaufnahmen des LUMMER-Phänomens zeigte, existieren niemals zwei oder mehrere Fische direkt nebeneinander, sondern es liegt immer mindestens eine dunkle Wabe dazwischen. Darauf wurde die Be-

ng der Lebensdauer begründet. Es diente dazu eine Reihe von men mit Belichtungszeiten von $^1/_2$ bis $^1/_{100}$ sec. Bei einer nten Belichtungszeit mußten dann keine zwei Fische mehr ıebeneinander zu sehen sein. Diese Belichtungszeit wäre dann in wenig kürzer als die Lebensdauer der Fische. Da es jedoch hl möglich ist, daß im Augenblick, wo ein Fisch gerade vergeht, rekt daneben schon entsteht, erachtete ich es als ausreichend ellen, bei welcher Belichtungszeit zwei nebeneinanderliegende ıicht mehr die für das Erlöschen charakteristische Aderstruktur



UMMER-Phänomen bei 38 cm Hg-Säule Luftdruck, Belichtungszeit $^1/_{50}$ sec., Vergrößerung 10fach.

Dies war bei $^1/_{50}$ sec. der Fall, so daß die Lebensdauer der zu $^1/_{25}$ bis $^1/_{50}$ sec. angenommen werden konnte (Fig. 2). se Lebensdauer ist weder von der Strombelastung noch vom ık abhängig. Die geringere Lebhaftigkeit der ganzen Erıg wird nur dadurch bedingt, daß bei geringerem Druck die größer werden und pro sec. in der Flächeneinheit weniger auf-

der Projektion konnte festgestellt werden, daß die Waben an elle bis zu einer Sekunde erhalten bleiben, und daß mehrere ıintereinander in einer Wabe entstehen und vergehen können. ch diesem Befund mußten also bei einer Belichtungszeit von die Fische als Streifen erscheinen, wenn sie sich bewegen. Dies

war jedoch nie der Fall (Fig. 3). Selbst bei dieser langen Belichtungszeit sieht man das Netzwerk in der bekannten Gestalt scharf ausgebildet. Alle Konturen sind scharf, und kein Streifen deutet auf Bewegung hin. Daß die Grenzen zwischen den einzelnen Waben so hell erscheinen, hat seinen Grund darin, daß diese Grenzen den beiden aneinanderstoßenden Fischen gemeinsam und somit doppelt belichtet sind. In jeder Wabe hat bereits ein Fisch geleuchtet, deshalb sind sie alle gleich hell.

Den entgültigen Beweis erbrachte eine kinematographische Aufnahme von rund 60 Bildern in der Sekunde, die dann mit 20 Bildern

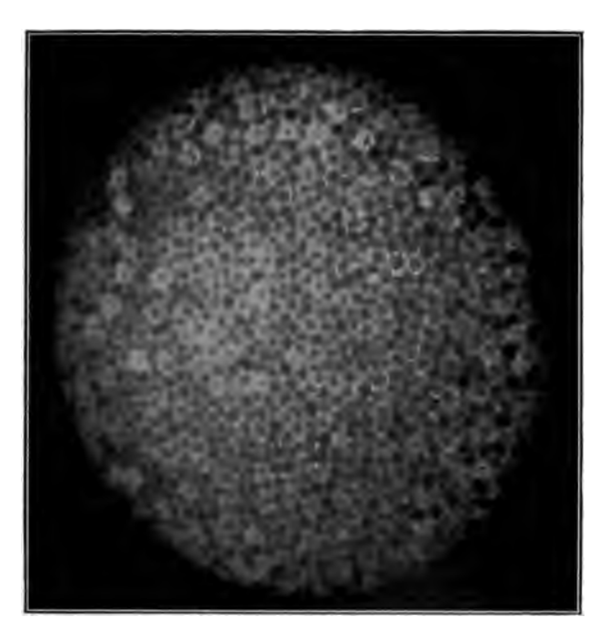


Fig. 3. LUMMER-Phänomen bei 38 cm Hg-Säule Luftdruck, Belichtungszeit $^1/_2$ sec., Vergrößerung 10fach.

in der Sekunde ablief. Diese zeitliche Auflösung genügte, um zu erkennen, daß jeder Fisch in einer Wabe entsteht, in ihr eine kurze Zeit leuchtet und dann wieder in der gleichen Wabe erlischt. Die Fische bewegen sich also nicht.

4. Gestalt und Anordnung der Fische und Waben

Um festzustellen, ob die Fische eine räumliche Ausdehnung haben, wurde der Krater in der Verkürzung aufgenommen. Es zeigte sich, daß der Krater lauter Löcher hat, und einige davon leuchten hell. Das sind die Fische in den Waben. Sie haben keine räumliche Aus-

dehnung, sondern sind die leuchtenden Grundflächen der Waben.

Die Fische haben stets eine eckige Form, jedoch regelmäßige Vielecke sind sie nicht. Ihre Ränder sind immer diffus. Daß es sich bei dem diffusen Leuchten der Fische nicht um Unschärfe der Abbildung handelt, beweisen die auf den Aufnahmen vollkommen scharf abgebildeten feinen Risse in der Kohle. Viel regelmäßiger sind hingegen

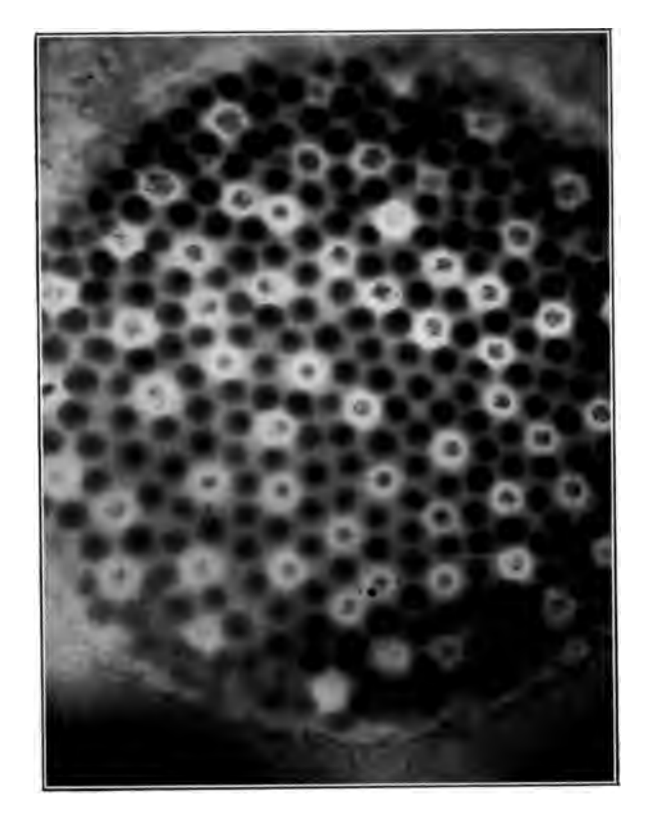


Fig. 4. LUMMER-Phänomen auf Kohlepulver, Vergrößerung 20fach.

die Waben. Das sie bildende Maschenwerk ist regelmäßig sechseckig und scharf begrenzt (Fig. 4). Die Fläche ist durch diese sechseckigen Waben vollständig ausgefüllt, und diese Anordnung bedeutet gerade die vollständige Ausfüllung einer Fläche mit hoher Symmetrie. Das Maschenwerk leuchtet dunkler als die Fische, aber heller als die Waben. Die Fische sind in keiner regelmäßigen Anordnung untereinander.

In der verkürzten Projektion erweckt der Krater nicht den Eindruck, als ob er von einer Flüssigkeitsschicht überzogen wäre, da das Netzwerk und die Waben absolut fest erscheinen und stark plastisch

hervortreten. Daß sich die Fische nicht bewegen, wurde ebenfalls bestätigt, da niemals ein heller Fisch über das plastische Netzwerk hinwegläuft, was leicht festzustellen wäre.

5. Verhalten des Bogens beim Brennen im indifferenten Gas (Argon)

In allen reaktionsfähigen Gasen wie Luft, Stickstoff und Kohlendioxyd ergab sich nach LUMMER vollständig das gleiche Bild der Fische und Waben (4). Deshalb lag es nahe zu untersuchen, wie sich der Bogen und speziell der Anodenkrater mit dem LUMMER-Phänomen im indifferenten Gas verhielt[1]). Es wurde zunächst der Behälter mittels einer rotierenden Ölpumpe soweit wie möglich luftleer gepumpt (1—2 mm Hg-Säule infolge Gasabgabe und Poren im Eisen) und dann mit Argon gefüllt. Der Krater auf der Anode schrumpfte bei gleichbleibender Belastung sofort auf einen Bruchteil seiner bisherigen Ausdehnung zusammen, und es gelang bei keinem Druck von 2 mm Hg-Säule bis 15 Atü. und bei keiner Belastung von 0,06 bis 6,0 Amp./mm^2 das LUMMER-Phänomen hervorzubringen.

Diese Tatsache stützte die bereits in 4. geäußerte Vermutung, daß das LUMMER-Phänomen mit dem Schmelzen des Kohlenstoffes nichts zu tun hat. Es hätte nämlich die Schmelztemperatur auf jeden Fall erreicht werden müssen, obschon, wie später (Kapitel III) gezeigt wird, das Ergebnis von KOHN und GUCKEL (5) (gleiche Temperatur des positiven Kraters in allen Gasen bei gleichem Druck) sich nicht halten läßt.

Das Ausbleiben des LUMMER-Phänomens im nicht reaktionsfähigen Gas deutete erstmalig darauf hin, daß das Auftreten der Fische und Waben durch chemische Vorgänge bedingt ist.

Auch der Kathodenbrennfleck zeigte ein völlig anderes Verhalten. Während er in Luft stets ruhig an einer Stelle bleibt, und dort eine Vertiefung frißt, springt der Bogenansatz im Argon unruhig hin und her. An jeder Stelle, wo er angebissen hat, frißt er eine kleine Mulde, und wenn diese eine bestimmte Tiefe erreicht hat, springt er auf eine benachbarte höhere Stelle über. Auf diese Weise entsteht auf der Kathode eine Wabenstruktur wie beim LUMMER-Phänomen auf der Anode, nur mit dem Unterschied, daß nur jeweils ein Fisch vorhanden ist, nämlich der Kathodenbrennfleck (Fig. 5). Die Eigenschaften des Kathodenbrennfleckes sind in diesem Falle die gleichen wie die der Fische. Seine Größe nimmt mit abnehmendem Druck zu und ist von der Stromstärke unabhängig. Die entstehenden Waben sind jedoch rund 10mal so groß wie beim LUMMER-Phänomen.

---

[1]) Das zu diesem Zweck verwandte Argon wurde von der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen freundlicherweise kostenlos überlassen, wofür ich an dieser Stelle besonders danken möchte.

Fernerhin ergab sich beim Brennen des Bogens im Argon noch folgende Tatsache. Nach etwa zweistündigem ununterbrochenem Brennen des Bogens zeigte die positive Kohle nur einen Substanzverlust von 2—3 mm^3. In Luft oder Stickstoff brennt aber im gleichen Zeitraum und bei gleicher Belastung ein Kohlepaar (Anode 8 mm Durchmesser und 170 mm lang) vollständig ab. Dabei dürfte der sehr geringe Abbrand im Argon durch die restlichen Mengen Luft im Behälter hervorgerufen sein, da der Behälter, wie oben erwähnt, nur bis 2 mm Hg-Säule ausgepumpt werden konnte.

Anschließend wurden quantitative Untersuchungen über den Abbau der Anode in Luft, Stickstoff, Kohlendioxyd und Argon angestellt. Zu diesem Zweck wurde folgendermaßen verfahren: Mehrere Kohlestäbe wurden zunächst auf 1 Milligramm abgewogen und dann unter gleichen Bedingungen in der Bogenlampe als Anode jeweils eine bestimmte Zeit gebrannt. Dann wurden die Kohlen wiederum gewogen und so der Substanzverlust pro Minute ermittelt. Der Druck des Füllgases betrug immer 760 mm Hg-Säule.



Fig. 5. Erkaltete Kathode in Argon 1 Atm., Vergrößerung 27 fach.

Luft	1,42 Amp./mm^2	in 1 Min.	0,115 g
N_2	1,42 Amp./mm^2	in 1 Min.	0,070 g
CO_2	1,42 Amp./mm^2	in 1 Min.	0,156 g
Argon . . .	1,42 Amp./mm^2	in 1 Min.	0,001 g.

Bei allen diesen Versuchen bedeckte der Krater die gesamte Stirnfläche der auf 15 mm Länge und 3 mm Durchmesser abgedrehten Kohlestäbe.

Das beweist also, daß beim nichtzischenden Bogen der Abbau der Kohlen nicht durch Sublimation, sondern lediglich durch chemische Prozesse hervorgerufen wird, da der Abbau im Argon gegenüber Luft z. B. nur rund 1 % beträgt. Die sich einstellende konstante Kratertemperatur kann also beim Brennen des Bogens in Argon nicht die Sublimationstemperatur darstellen.

Unter gleichen Bedingungen der Abbildung erscheint der Anodenkrater des Bogens beim Brennen im Argon dem Auge dunkler als in Luft. Auf diese Erscheinungen und daran sich knüpfende Untersuchungen soll im Kapitel III dieser Arbeit eingegangen werden.

6. Der obere Grenzwert der Stromstärke

Sehr entscheidend für die Deutung des LUMMER-Phänomens erschien meines Erachtens der Umstand, daß es jeweils nur unterhalb eines bestimmten Grenzwertes der Stromstärke auftritt, der vom Durchmesser der Kohle abhängig ist (6). Daß die Größe des positiven Kraters von der Stromstärke abhängig ist, ist bekannt. Bei „normaler" Belastung füllt der Krater die gesamte Stirnfläche der Anode aus. Reguliert man den Strom unter eine bestimmte spez. Belastung, so wird der Brennfleck kleiner als die Stirnfläche. In diesem Augenblick teilt sich der Brennfleck auf, und es entstehen die Fische als kleine Teilbrennflecke.

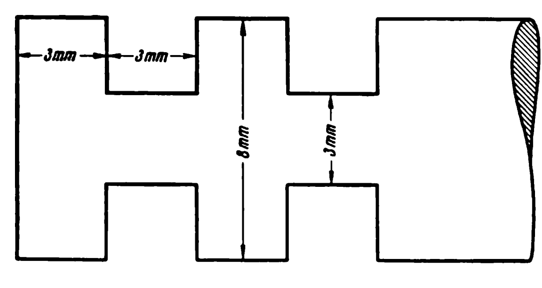


Fig. 6.

Umgekehrt mußte also das LUMMER-Phänomen verschwinden, wenn die Strombelastung konstant blieb, dafür aber der Querschnitt der Kohle plötzlich sehr klein wurde. Durch den Versuch wurde diese Annahme voll bestätigt gefunden. Eine Kohle, die entsprechend eingedreht war, wurde als Anode gebrannt (Fig. 6). Zunächst wurde für die große Stirnfläche die für das Auftreten des LUMMER-Phänomens nötige Stromstärke eingestellt, so daß bei $^1/_2$ Atm. die ganze Stirnfläche damit bedeckt war. Im Augenblick, als plötzlich nur der dünne Querschnitt als Brennfläche diente, hörte das LUMMER-Phänomen auf. Sobald wieder der volle Stabquerschnitt erreicht war, breitete sich der Brennfleck ziemlich schnell aus, und es entstanden zunächst an seinem Rande die Fische, dann die Waben, und schließlich bedeckte die Erscheinung wieder die gesamte Stirnfläche der Anode. Das gleiche wiederholte sich mehrere Male hintereinander ohne jeden Unterschied.

Die Erklärung für diese Aufteilung des Anodenbrennfleckes dürfte weniger in den Vorgängen an der Anode selbst, als vielmehr in den

Eigenschaften der Bogensäule zu finden sein. Die Temperatur dieser Säule ist im Inneren am höchsten und nimmt nach außen hin durch Wärmeleitung und Diffusion ab. Die Gassäule hat einen bestimmten Durchmesser und ist bestrebt, diesen konstanten Wert beizubehalten. Dadurch bleibt ebenfalls der Spannungsabfall über die ganze Länge der Bogensäule konstant. Wird nun unter einem bestimmten Grenzwert der Stromstärke der Krater kleiner als die Stirnfläche der Anode, so müßte die Bogensäule, wie der helle Teil der Fig. 7 zeigt, stark eingeschnürt sein. Dies würde aber vor der Anode einen größeren Spannungsabfall und auch eine andere Temperaturverteilung über den Querschnitt des Bogens bedingen. Wie schon früher durch Messungen an künstlich eingeschnürten Gassäulen bekannt war, und besonders

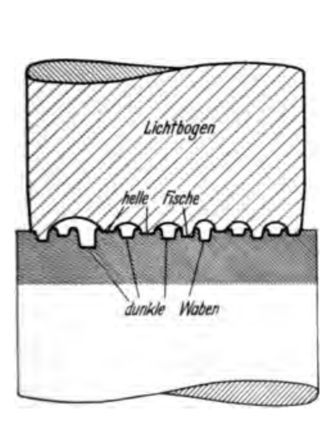



Fig. 7.

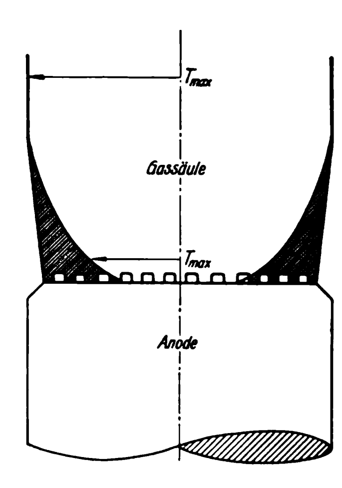


Fig. 8.

deutlich aus einer kürzlich abgeschlossenen Untersuchung von H. SCHNAUTZ an der unbeeinflußten Säule freibrennender Bögen hervorgeht, bedingt diese Einschnürung höhere Gastemperaturen und somit einen größeren Spannungsabfall. Teilt sich dagegen die Gassäule direkt vor der Anode in viele dünne Bogensäulen auf, so wird der Querschnitt nur wenig verringert, und auch dies nur direkt vor der Anode (schraffierter Teil der Fig. 7). Der Bogen brennt in diesem Fall also mit einer geringeren Spannung, d. h. stabiler, wie bereits aus der bekannten fallenden Charakteristik des Kohlelichtbogens folgt.

Es ist also anzunehmen, daß die Bogensäule dicht vor der Anode sich in einzelne dünne Gasbahnen aufteilt, deren jede auf der Anode einen kleinen Krater, nämlich den Fisch, bildet (Fig. 8). Hat dieser kleine Krater eine bestimmte Tiefe erreicht, so springt der kleine Bogenansatz blitzschnell auf eine benachbarte, höherliegende Stelle

über, und es bleibt ein kleiner Krater als dunkle Wabe zurück. Es sind also nicht die Waben, sondern die Fische das Primäre. Das Überspringen des kleinen Ansatzes täuschte wohl die von LUMMER angenommene Bewegung hervor, zumal der Ansatz alte, aber noch höherliegende Waben bevorzugt.

7. Das LUMMER-Phänomen auf kristallinem Graphit, Graphitpulver und Kohlepulver

Mit Ausnahme von Diamant, der sich in Graphit umwandelte, sind von LUMMER immer körnige Formen des Kohlenstoffes als Anode



Fig. 9.
LUMMER-Phänomen auf Fläche 0 0 1 des Graphits.



Fig. 10.
Der positive Krater auf h k 0 des Graphits.

gebrannt worden. Dabei trat das LUMMER-Phänomen stets in der bekannten Weise auf (7).

Als Ergänzung hierzu wurde kristalliner Ceylongraphit als Anode gebrannt, indem die in der gewünschten Richtung geschnittenen Kristallstücke in eine ausgebohrte Kohle eingesetzt wurden. Während auf der hexagonalen Basisfläche 0 0 1 die Fische und Waben ohne weiteres auftraten (Fig. 9), gelang es nicht, das Phänomenauf einer dazu senkrechten Fläche hervorzubringen (Fig. 10). Im letzteren Falle nimmt auch der Krater niemals die gesamte Anodenstirnfläche ein; selbst bei einer spez. Strombelastung von 6 Amp./mm^2 war dies nicht zu erreichen. Die Kristallgrenzen sind deutlich zu erkennen.

Die Erklärung für diese Unterschiede ist vielleicht in dem anisotropen Verhalten des Graphits in bezug auf die Wärmeleitfähigkeit

zu finden. Sie ist in Richtung der Basis größer als in Richtung der c-Achse. Nach Landolt-Börnstein ist der Unterschied von der Größenordnung 10^2. Fällt nun die c-Achse mit der Kohlenachse zusammen, so wird die Wärme in dieser Richtung schlecht abgeleitet, das Lummer-Phänomen tritt auf. Anders verhält es sich auf einer zur c-Achse parallelen Fläche. Die Wärme von dieser Fläche wird senkrecht dazu in der Basisfläche gut abgeleitet, die Anodenstirnfläche also merklich gekühlt. Der Anodenbrennfleck teilt sich nicht auf. Der Boden bevorzugt, wie auf Fig. 10 zu sehen ist, größere Kristallite als Ansatz auf der Anode. Zwischen diesen Kristalliten springt der

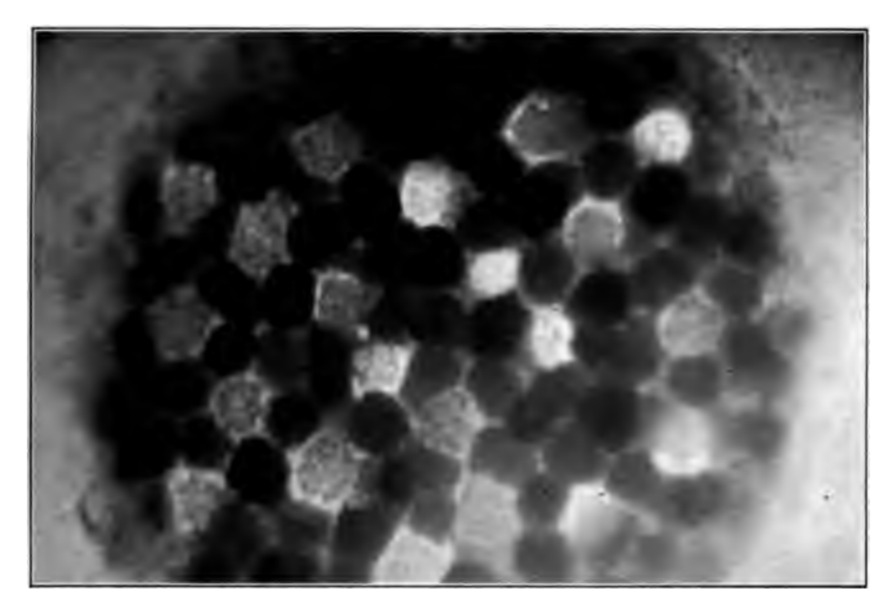


Fig. 11. Lummer-Phänomen auf Kohlepulver 0,06 mm Korngröße, Luftdruck 10 cm Hg-Säule, Vergrößerung 22fach, Belichtungszeit $^1/_{25}$ sec.

Bogenansatz unruhig hin und her. Der Bogen brennt nicht stabil, er erlischt sehr leicht.

Die Hohlräume zwischen dem Kristallstück und der ausgebohrten Kohle waren, um einen besseren elektrischen Kontakt zu erzielen, mit Graphitpulver ausgestopft worden. Als der Graphitkristall verbrannt war, brannte der Bogen auf diesem Pulver. Dabei traten plötzlich die Fische und Waben viel größer auf. Ebenso verhielt es sich mit Kohlepulver, das in eine vorn ausgebohrte Kohle eingefüllt war.

Die wahre Größe der Fische und Waben ist bei gleichem Druck größer als auf Homogenkohle. Bei weiterem Abpumpen der Luft trat der Übergang vom Lummer-Phänomen in den von Lummer so-

genannten „zähflüssigen Zustand" erst bei 3—5 cm Hg-Säule ein, während auf Homogenkohle bei etwa 18 cm Hg-Säule. Die Fische erreichten eine wahre Größe von rund 1,4 mm (Fig. 11 und Fig. 12). Die Lebensdauer war etwa $^{1}/_{25}$ sec., also nicht geändert. Hingegen sprang der Bogenansatz jetzt nicht mehr so schnell auf eine andere Stelle über, sondern lief langsam in eine andere bisher dunkle Wabe.

8. Die Korngrößenabhängigkeit der Fische

Um die Abhängigkeit der Größe der Fische von der Korngröße untersuchen zu können, wurde Kohlepulver durch Seidengaze be-

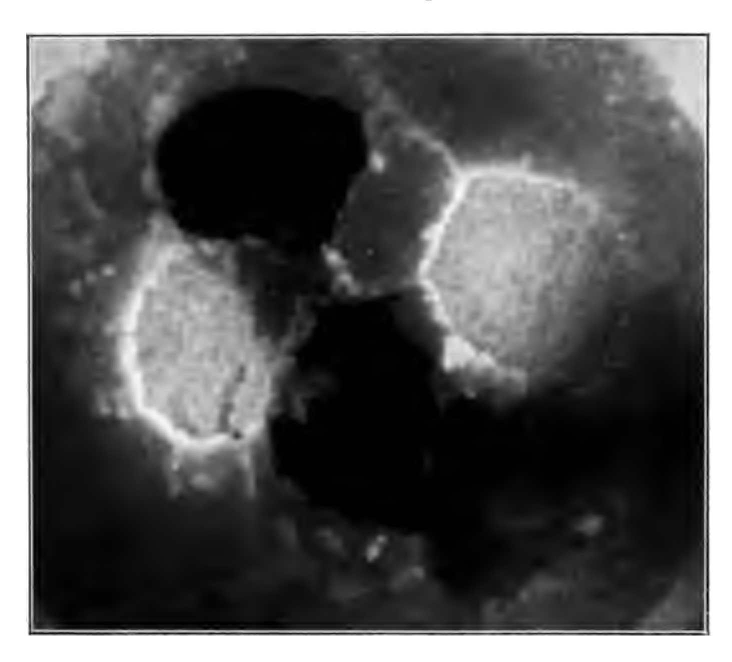


Fig. 12. 3,2 cm Hg-Säule Luftdruck, Belichtungszeit $^{1}/_{25}$ sec., Vergrößerung 22fach, Übergang vom LUMMER-Phänomen in den „zähflüssigen Zustand".

stimmter Weite gesiebt, und zwar so, daß eine genau bestimmte Größe zurückblieb. So war es möglich, Korngrößen von 0,06 bis 0,6 mm Durchmesser zu erhalten. Diese Pulver wurden in ausgebohrte Kohlen eingefüllt und als Anode gebrannt. Der Druck betrug immer 10 cm Hg-Säule, die spezifische Belastung 0,26 Amp. pro mm². Die Fische wurden dann ausgemessen und mit Hilfe der Vergrößerung deren wahre Größe bestimmt. Dabei war die Übereinstimmung von unter vollkommen gleichen Bedingungen gemachten je 3—5 Aufnahmen gut. Die Schwankungen betrugen nur bis 2 %. Die so erhaltenen Mittelwerte

0,06	0,2	0,3	0,5	0,6	mm Korngröße
0,5	0,6	0,68	0,82	0,87	mm große Fische.

in Abhängigkeit von der Korngröße aufgetragen, ergeben in guter Näherung eine Gerade (Fig. 13).

Nach unten nähert sich die Größe der Fische einem Grenzwert, und zwar wäre sie bei der Korngröße 0 und 10 cm Hg-Säule Luftdruck ungefähr 0,45 mm. Jedes Korn ist auch bei feinstem Pulver deutlich zu erkennen. Die Fische sind immer größer als das Korn. Bei 0,5 und 0,6 mm Korngröße sieht man die Unebenheiten der Oberfläche und die Kanten der Körner in der Projektion sehr gut. Selbst von einer noch so dünnen Flüssigkeitsschicht, die auf dem groben Pulver ohne weiteres auffallen müßte, ist nichts zu erkennen. Die scharfen Kanten und Ecken der Körner deuten keinesfalls auf ein Schmelzen hin. Als feststehend kann betrachtet werden, daß die Größe der Fische mit der Korngröße linear zunimmt, jedoch sind die Fische stets größer als das Korn.

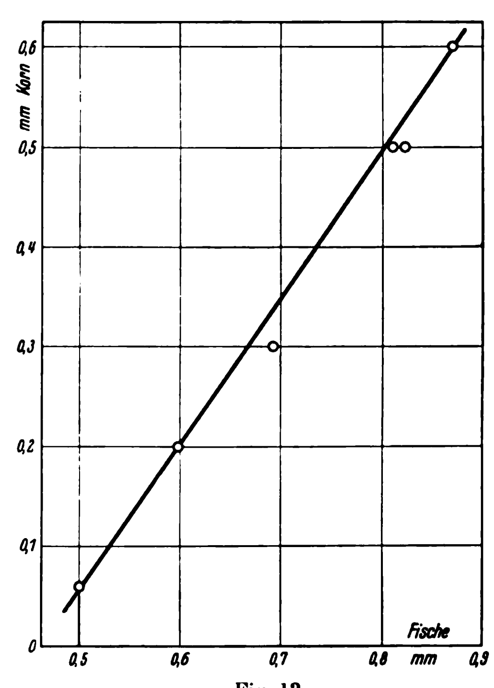


Fig. 13.
Abhängigkeit der Größe der Fische von der Korngröße.

Man kann die Abhängigkeit der Größe der Fische von der Korngröße aus dem Wärmeleitvermögen der verschiedenen Kohlepulver qualitativ ableiten. Je kleiner das Korn ist, desto dichter und fester ist die räumliche Packung. In diesem Fall ist die Wärmeleitfähigkeit und auch die elektrische Leitfähigkeit größer, da die Übergangswiderstände von Korn zu Korn geringer sind. Die Wärme wird von der Stirnfläche der Anode stärker abgeleitet als bei grobem Pulver. Der Fleck an der Anode, der durch den Bogenansatz hoch erhitzt wird, ist kleiner. Der Fisch wird kleiner, damit gleichzeitig die Stromdichte im Ansatzfleck größer. Der Wärmeverlust durch stärkere Ableitung ist ausgeglichen, indem der auf die gleiche hohe Temperatur erhitzte Brennfleck kleiner geworden ist. Schnitte parallel der Achse der Anode zeigen im feinkörnigen Pulver eine weiterreichende Rekristallisation

als bei grobem Pulver. Das feinkörnige Pulver wird also auf ein größeres Stück hoch erhitzt; der Temperaturgradient ist kleiner. Bei größerem Korn dagegen ist die Wärmeleitfähigkeit und auch die elektrische Leitfähigkeit durch Übergangswiderstände zwischen den einzelnen Körnern geringer. Dadurch bleibt die Wärme an der Oberfläche erhalten: der Leuchtfleck wird größer. Gleichzeitig wird die schlechtere elektrische Leitfähigkeit durch größeren Leitungsquerschnitt ausgeglichen.

Diese Deutung würde mit der von Lummer festgestellten Tatsache, daß die Fische im Unterdruck stets die gleiche Temperatur haben, vollkommen übereinstimmen (8).

9. Untersuchungen am erkalteten positiven Krater

Über die Beschaffenheit der Oberfläche der Anode war auf Grund der Beobachtungen und Aufnahmen in der Projektion im heißen

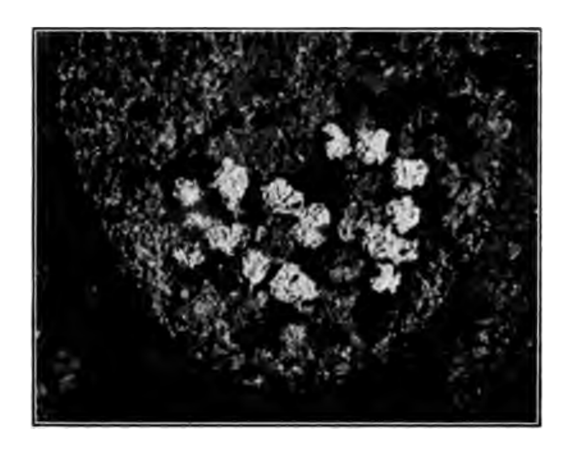


Fig. 14. Erkaltete Pulveranode 0,06 mm Korngröße, abgeschaltet bei 10 cm Hg-Säule Luftdruck, Vergrößerung 12fach.

Zustande nichts Genaues auszusagen. Da jedoch die Tatsache, ob die Fische und Waben nach dem Erkalten irgendwelche Spuren hinterlassen sehr aufschlußreich für die Deutung des Lummer-Phänomens sein mußte, wurden die erkalteten Krater nach dem Abschalten des Bogens unter dem Mikroskop untersucht. Auf Homogenkohlen war zunächst nichts Auffälliges festzustellen außer dem von Lummer als Graphit identifiziertem rußigen Belag (9), der ein gleichmäßiges, sammetartiges Aussehen zeigte. Auf Kohlepulver gelang es dann erstmalig bei 10 cm Hg-Säule Luftdruck im erkalteten Zustand eine Struktur zu erhalten, die an das Bild der Fische und Waben erinnerte (Fig. 14). Eine Regelmäßigkeit war hier wie auch beim Brennen bei 10 cm Hg-Säule (Fig. 11) nicht vorhanden. Die Waben erschienen als rußige Vertiefungen, die Fische hinterließen metallisch glänzende, körnige Teilchen, die sich leicht im Ganzen abheben ließen. Sie waren

keine Einkristalle, sondern feinkörnig und schienen nur versintert. Schmelzkügelchen konnten sie nicht sein, da sie sehr scharfkantig waren. Wie sich unter dem Binokularmikroskop zeigte, waren sie schwach muschelförmig.

Es wurde nun versucht die regelmäßige Anordnung im erkalteten Zustand zu erhalten, wie sie beim Druck über 15 cm Hg-Säule und Brennen von Kohlepulver (Fig. 4) zu beobachten war. Tatsächlich gelang es schließlich auch in etwa 3 von 100 versuchten Fällen durch sehr plötzliches Abschalten des Bogens die regelmäßige Wabenstruktur im erkalteten Zustand zu erhalten (Fig. 15, 16 und Fig. 17). Der in



Fig. 15. Erkaltete Pulveranode mit Waben, 20 cm Hg-Säule Luftdruck, Vergrößerung 10fach.

Fig. 17 reproduzierte Krater erkaltete bei 25 cm Hg-Säule Luftdruck. Auf ihm saßen in vielen der Waben die hellen, körnigen Fische. Wie zu sehen ist, befindet sich auf der Anode eine sehr dünne Schicht feinkörnigen Kohlenstoffes, aus dem die Waben aufgebaut sind. Ein Teil davon ist abgeblättert, und das viel grobkörnigere, eingefüllte Pulver ist sichtbar.

Es findet also eine Umwandlung des Kohlenstoffes in einer sehr dünnen Schicht auf der Oberfläche des Kraters statt. Diese dünne Schicht ist mit dem Untergrund nicht fest verwachsen. Sie bildet eine Wabenstruktur mit sechseckigen Zellen, in denen die Fische metallglänzende, körnige Partikel hinterlassen.

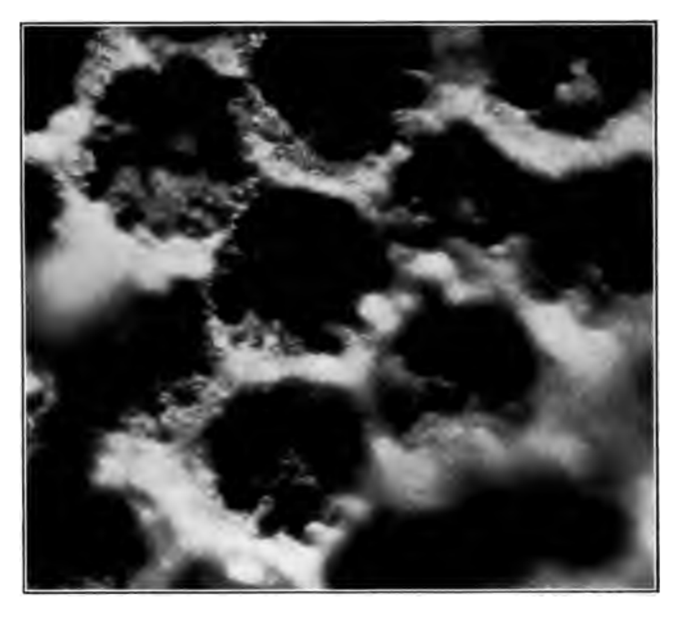


Fig. 16. Ausschnitt des Kraters von Fig. 15, Vergrößerung 100fach.



Fig. 17.
Bei 25 cm Hg-Säule
Luftdruck
erkaltete Pulveranode,
Vergrößerung 16fach.

Die Hauptschwierigkeit der Erhaltung der Wabenstruktur lag darin, daß beim Abschalten des Bogens und plötzlichen Abkühlen der Oberfläche diese dünne Schicht weggeschleudert wurde und nur selten wenigstens ein kleiner Bereich davon auf der Kohle sitzenblieb, der jedoch auch bald abfiel. Durch solche schon abgelöste Teile der Schicht entstanden die langen Schatten auf Fig. 17. Bereits nach wenigen Stunden war die dünne Schicht abgefallen.

Nur mit unendlicher Geduld gelang es schließlich auch auf Homogenkohle die Wabenstruktur im erkalteten Zustand zu erhalten.

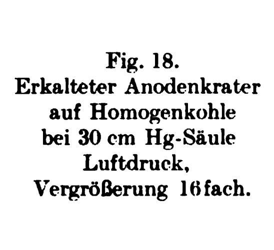




Fig. 18.
Erkalteter Anodenkrater auf Homogenkohle bei 30 cm Hg-Säule Luftdruck, Vergrößerung 16fach.

Dabei war die Schicht nur hauchdünn, und schon leichtes Anblasen genügte, um sie zu zerstören. War es geglückt, sie beim Abschalten auf der Kohle zu erhalten, so blätterte sie meist schon während des Photographierens ab. Fische konnten auf Homogenkohle in den Waben im kalten Zustande nie beobachtet werden (Fig. 18).

Das LUMMER-Phänomen bewirkt die Umwandlung einer dünnen Oberflächenschicht auf der Anode, die durch die kleinen Brennflecke, die Fische, wabenartig abgebaut wird. In den sechseckigen Waben hinterbleibt eine metallglänzende körnige Substanz.

Das Auffinden dieser räumlichen Wabenstruktur auf der erkalteten Anode bestätigte die Annahme, daß es sich bei dem LUMMER-Phänomen

um einen Abbau der Anode durch die kleinen Teilbrennflecke, die Fische, handelt, und diese erzeugen kleine Krater, die Waben.

10. Röntgenographische Untersuchungen an der umgewandelten Schicht und den metallglänzenden Partikelchen, Borcarbid

Lummer hatte auf Grund chemischer Analysen und durch Bestimmung des spez. Gewichtes den rußigen Belag als Graphit identifiziert. Nach Schmidt, Ruff und Olbrich (10) und auch Hofmann und Wilm (11) sind aber viele Übergangsformen vom feinstkristallinen Kohlenstoff bis zum Graphit möglich. Deshalb wurden alle Produkte auf dem Anodenkrater röntgenographisch untersucht. In bezug auf die glänzenden Partikelchen (Fig. 14) bestand zunächst die Vermutung, daß es sich um Borcarbid handelte, da Bor in allen im Handel befindlichen Kohlen als Bindemittel vorhanden ist, da es die Rekristallisation fördert (10), und als einziges Element auch bei der Selbstreinigung der Kohle im Bogen nicht verdampft. Durch eine Blindprobe wurde diese Vermutung schon widerlegt.

Es wurde dem in die Kohlen eingefüllten reinsten Benzolruß weniger als 1 % wasserfreie, feingepulverte Borsäure zugefügt. Gleich nach dem Zünden des Bogens entstanden bei jedem Druck auf dem Krater winzige, metallische Schmelzkügelchen, die mit dem Abbrand durch Anreicherung größer wurden und bald zu großen Tropfen zusammenliefen. An diesen Stellen wurde selbst durch die kleinsten Kügelchen das Lummer-Phänomen gestört. Der Vergleich einer Debye-Scherrer-Aufnahme dieser Schmelzen mit einer Aufnahme von reinem Borcarbid von Podzsus zeigte, daß die Schmelzkügelchen Borcarbid mit starkem Überschuß von Kohlenstoff waren.

Daraufhin wurden Debye-Scherrer-Aufnahmen von

1. ungeglühter Siemens Plania Homogenkohle,
2. der umgewandelten Schicht,
3. den metallglänzenden Partikeln,
4. Ceylongraphit zum Vergleich gemacht. Die Gegenüberstellung der Aufnahmen zeigte, daß in obiger Reihenfolge eine Umwandlung in kristallographischer Hinsicht stattgefunden hat. Diese Umwandlung müßte letzten Endes zu der Struktur des Ceylongraphits führen. Nach allen bisher beschriebenen Versuchen und den sich daraus ergebenden Tatsachen geht diese Umwandlung jedoch nicht über eine Schmelze vor sich, sondern es findet eine Rekristallisation der gesamten heißen Anodenoberfläche statt, und eine noch weitgehendere Rekristallisation an den noch heißeren kleinen Kratern, den Fischen. Dort bildet sich metallisch glänzender Graphit. Diese metallisch glänzenden Partikelchen zeigen demgemäß auch die dem Ceylongraphit ähnlichste Struktur. Nach den zu Beginn dieses Abschnittes angeführten Arbeiten von Schmidt, Ruff und Olbrich und Hofmann und Wilm, die sehr

eingehende Untersuchungen über diese Rekristallisationserscheinungen angestellt haben, erübrigte sich nach Feststellung dieser Tatsachen eine weitere Bearbeitung in dieser Richtung.

11. Einfluß des Füllgases auf das LUMMER-Phänomen

Wie bereits in 5. mitgeteilt wurde, tritt das LUMMER-Phänomen im indifferenten Gas, z. B. Argon, nicht auf. Diese Tatsache ließ vermuten, daß das LUMMER-Phänomen durch den chemischen Abbau der Anode durch Reaktion mit dem Füllgas bedingt ist. Eine Bestätigung dieser Ansicht ergab sich aus folgendem:

Nach LUMMER setzte das Phänomen in Luft, Sauerstoff, Stickstoff und Kohlendioxyd nach etwa $^1/_2$stündigem Brennen bei einem Rauminhalt des Behälters von 30 Litern aus (12). Im Augenblick des Aussetzens erreichte ein sich verstärkendes blaues Bogenleuchten sein Maximum. Spektroskopische Untersuchungen ergaben, daß dieses blaue Leuchten durch das gegenüber den CN-Banden immer stärkere Hervortreten der C_2-Banden hervorgerufen wurde. Wurde dann wieder frisches Füllgas in den Behälter eingelassen und dabei der Strom immer konstant gehalten, so trat das LUMMER-Phänomen sofort wieder auf.

Eine Erklärung für dieses eigenartige Verhalten war nicht zu finden, wenn es sich, wie nach der LUMMERschen Deutung, bei dem Phänomen um das Schmelzen des Kohlenstoffes handelte, da nach KOHN und GUCKEL, wie bereits erwähnt, die Temperatur des positiven Kraters bei gleichem Druck in allen Gasen auch die gleiche sein sollte (5). Die Temperatur mußte schließlich auch die gleiche bleiben, wenn der Bogen nur noch in seinen eigenen Verbrennungsgasen brannte. Der Kohlenstoff müßte also auch in diesem Falle schmelzen.

Das Verhalten des Anodenkraters und im besonderen das LUMMER-Phänomen wurden nun genau beim Brennen in Luft, Stickstoff und Kohlendioxyd beobachtet. Es konnte in Übereinstimmung mit LUMMER festgestellt werden, daß das Phänomen nach einer bestimmten Zeit völlig aufhörte. Gleichzeitig hörte aber auch der chemische Abbau der Anode völlig auf, wie dies auch im Argon der Fall war. Diese Beobachtungen sind mit der Tatsache im Einklang, daß das Auftreten des LUMMER-Phänomens an den chemischen Abbau der Kohle und somit die Anwesenheit eines reaktionsfähigen Gases geknüpft ist. — Das Aufhören des Kohleabbaues in den eigenen Verbrennungsgasen einige Zeit nach der Zündung wird, wie bekannt, praktisch bei den sogenannten Sparbogenlampen angewendet.

12. Abhängigkeit der Größe der Fische und Waben vom Druck

Die schon von LUMMER festgestellte Druckabhängigkeit der Größe der Fische und Waben vom Druck (13) wurde ebenfalls weiter unter-

sucht, zumal LUMMER keine Erklärung dafür gegeben hat. Er hat lediglich festgestellt, daß die Fische und Waben mit abnehmendem Druck größer werden, bis schließlich bei etwa $^1/_5$ Atm. der Übergang vom sogenannten „leichtflüssigen Zustand" (LUMMER-Phänomen) in den „zähflüssigen Zustand" stattfindet. Unterhalb dieses Druckes ist es nicht möglich, das LUMMER-Phänomen hervorzubringen.

Um diese Druckabhängigkeit genauer untersuchen zu können, wurde eine Aufnahmereihe des LUMMER-Phänomens bei gleicher Belastung von 10 zu 10 cm Hg-Säule Luftdruck und kurz vor dem Übergang in noch kleineren Intervallen gemacht. Die Belastung betrug 0,16 Amp./mm², die Anode hatte 8 mm Durchmesser. Dieser Stromwert wurde deshalb gewählt, weil dann bei $^1/_2$ Atm. das LUMMER-Phänomen die gesamte Anodenstirnfläche bedeckte. Es wurden immer möglichst viele Fische und Waben auf den Aufnahmen ausgemessen, der Mittelwert gebildet und durch die Vergrößerung dividiert, um die wahre Größe zu erhalten. Diese Werte in mm wurden in Fig. 19 in Abhängigkeit vom Druck incm Hg-Säule aufgetragen.

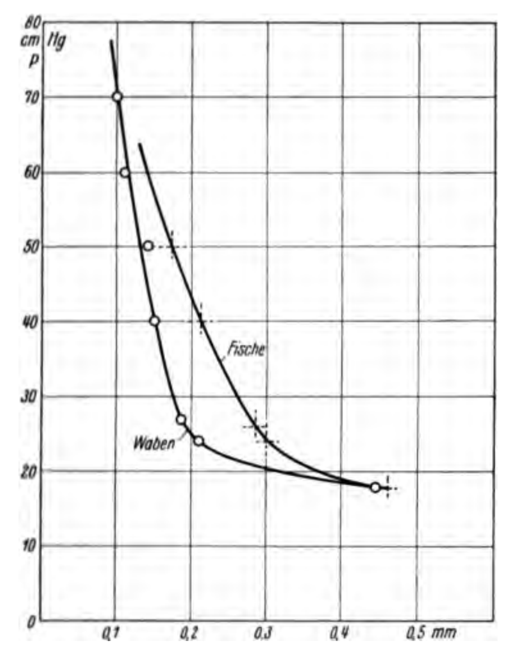


Fig. 19. Die Größe der Fische und Waben in Abhängigkeit vom Druck.

Druck cm Hg	Fische mm	Waben mm
74	—	0,1
60	—	0,11
50	0,17	0,13
40	0,21	0,15
26	0,27	0,19
24	0,30	0,21
20	—	0,31
18	0,46	0,43

Danach wachsen die Fische und Waben von Atmosphärendruck bis zu etwa 25 cm Hg-Säule herab sehr langsam und nahezu linear

mit abnehmendem Druck, jedoch die Fische schneller als die Waben, welch letztere auch immer kleiner sind. Bei $^1/_3$ Atm. ist der Größenunterschied am stärksten, und zwar 0,1 mm oder 40 % und nimmt dann sehr rasch wieder ab. Dagegen wachsen sowohl die Fische als auch die Waben jetzt sehr viel schneller. Die Kurven zeigen bei $^1/_3$ Atm. einen Knick. Bereits bei 18 cm Hg-Säule Luftdruck sind die Fische und Waben nahezu gleich groß, und zwar auf Homogenkohle 0,45 mm. Hier hört nun gleichzeitig das Lummer-Phänomen auf, und der Krater geht in den „zähflüssigen Zustand" über.

Die Erklärung für dieses Verhalten des Lummer-Phänomens dürfte in den thermischen Vorgängen und dem Bestreben zur Erhaltung des thermischen Gleichgewichtes, das für die Bogenentladung charakteristisch ist, zu finden sein. Die Fische (als kleine Teilkrater) haben die dem betreffenden Druck zukommende Temperatur des positiven Kraters (8); folglich hat auch der kleine Bogenansatz in seiner Achse die für den Bogen charakteristische Temperatur, die nach außen hin durch Konvektion und Diffusion abnimmt. Der Durchmesser des Bogenansatzes kann also unter einen bestimmten Grenzwert nicht herabsinken, sonst würde der Kern der Gassäule durch Diffusion in Richtung des Radius zu stark gekühlt. Damit würden der Widerstand und die Spannung steigen, der kleine Flammenbogen wäre nicht mehr stabil, da, wie man kurz sagen kann, die negative Charakteristik des Kohlebogens ein Absinken des Stromes bedingen würde, nnd die Minimumbedingung für die Spannung wäre ebenfalls nicht mehr erfüllt. Die Temperatur des Bogens ist einesteils, und zwar in der Hauptsache, durch den Strom im Bogen bedingt. Die Elektronen der Bogensäule treffen auf die Anode und heizen diese durch ihre kinetische Energie und die freiwerdende Austrittsarbeit auf. Andererseits reagieren die in der hohen Bogentemperatur dissoziierten Atome des Füllgases mit den Kohlenstoffatomen an der Oberfläche der Anode. Die bei diesen exothermen Reaktionen freiwerdenden Wärmemengen tragen aber ebenfalls zur Erwärmung der Anode und des kleinen Bogenansatzes bei. Wird der Druck des Füllgases verringert, so sinkt die Zahl der reaktionsfähigen Atome in der Volumeneinheit des Bogengases. Zugleich tritt eine stärkere Abkühlung des kleinen Bogenkernes durch Diffusion ein, da die freie Weglänge der Teilchen größer wird. Beides bewirkt gegenüber den vorher beschriebenen Verhältnissen eine geringere Wärmezufuhr. Die dadurch bedingte geringere Temperatur des Bogenansatzes bewirkt einen Widerstands- und Spannungsanstieg, die fallende Charakteristik gleichzeitig ein Sinken des Stromes, die Entladung wird instabil. Durch Vergrößern des Bogenquerschnittes behält der Kern der kleinen Bogensäule seine konstante, bzw. für den betreffenden Druck charakteristische Temperatur bei. Der größere Bogendurchmesser bedingt aber wiederum

eine größere Ansatzstelle auf der Anode, der Fisch wird größer. Schließlich bei einem Druck von etwa 18 cm Hg-Säule wird diese Diffusion durch Wachsen der freien Weglänge und somit Abkühlung im Bogen so stark, daß ein Gleichgewicht sich nur noch einstellen kann, wenn die Teilbrennflecke sich wieder vereinigen und der Bogen gleichmäßig die gesamte Stirnfläche als Krater berührt. Jetzt bleibt zwar das Gleichgewicht erhalten, die Gesamtenergie reicht aber nicht mehr aus, um den Krater auf die gleiche hohe Temperatur wie vorher zu erhitzen. Der Krater ist dunkler. Chemische Vorgänge finden kaum mehr statt. Der nun auftretenden, von LUMMER aus „zähes Fließen" bezeichneten Erscheinung liegen vielleicht folgende Vorgänge zugrunde. In dem wenig stabilen Bogen treten Gasbahnen erhöhter Dissoziation und Leitfähigkeit auf. Diese wiederum bewirken auf dem Anodenkrater eine stellenweise momentan erhöhte Anzahl auftreffender Elektronen und somit eine höhere Temperatur. Dadurch, daß diese Strombahnen durch Diffusion gegenüber dem übrigen Bogengas gekühlt werden, und daß dieser Übergang infolge der großen freien Weglänge auf eine größere Strecke verteilt ist, ist auch die hoch erhitzte Stelle des Kraters gegenüber dem übrigen Krater nicht scharf begrenzt, sondern zeigt einen allmählichen Übergang.

13. Zusammenfassung der Ergebnisse von Teil I

1. Die Lebensdauer der Fische beträgt rund $^1/_{25}$ Sekunde. Auf Grund von Aufnahmen des LUMMER-Phänomens, die mit der 10fachen Zeit der Lebensdauer der Fische belichtet wurden, und einer kinematographischen Zeitlupenaufnahme konnte festgestellt werden, daß sich die Fische nicht bewegen, sondern daß sie entstehen, eine kurze Zeit leuchten und an derselben Stelle wieder vergehen. Die Waben bleiben bis zu 1 Sekunde lang erhalten, und es entstehen und vergehen meist mehrere Fische hintereinander in einer Wabe.

2. Die Fische sind statistisch über die ganze Fläche des Kraters verteilt. Niemals liegen 2 Fische direkt nebeneinander. Sie haben wohl eine eckige Form, jedoch regelmäßige Vielecke sind sie selten. Ihre Ränder sind diffus. Hingegen ist das die Waben bildende Maschenwerk regelmäßig sechseckig und scharf begrenzt. Die sechseckige Aufteilung der Kraterfläche steht in keinem Zusammenhang mit der hexagonalen Struktur des Graphits, sondern ist durch die vollständige Aufteilung der Fläche mit höchster Symmetrie bedingt.

3. Im indifferenten Gas (Argon) tritt das LUMMER-Phänomen nicht auf. Es entsteht nur bei Anwesenheit eines reaktionsfähigen Gases und bedeutet nicht den Schmelzprozeß des Kohlenstoffes, sondern eine besondere Form des Abbaues der Anode. Auffallend ist der (schon bekannte) geringe Abbau der Anode im Argon bei normal

brennendem Bogen (kein Zischbogen), der gegenüber Luft z. B. nur 1% beträgt. Der Kohlenstoff sublimiert unter diesen Bedingungen nicht.

4. Das LUMMER-Phänomen tritt nur unterhalb eines bestimmten Grenzwertes der Stromdichte auf. Unterhalb dieser spezifischen Belastung bedeckt der Krater nur einen Teil der Anodenstirnfläche. Die Bogensäule müßte sich vor der Anode stark einschnüren, und das würde ihre Brennspannung erhöhen. Um dies zu vermeiden und den stabilen Zustand kleinster Brennspannung weiterhin beizubehalten, teilt sich der Anodenbrennfleck und somit auch die Bogensäule direkt vor der Anode in einzelne dünne Säulen auf und behält dadurch weitgehend den konstanten Querschnitt bei. Die Fische sind kleine Teilbrennflecke und hinterlassen als kleine Krater die Waben. Hat dieser Krater eine bestimmte Tiefe erreicht, so springt der Teilbrennfleck auf eine benachbarte, höhere Stelle über.

5. Auf der hexagonalen Basisfläche 0 0 1 des Graphits tritt das LUMMER-Phänomen ohne weiteres auf, hingegen nicht auf Flächen parallel zur c-Achse. Die Erklärung hierfür ist in der geringeren Wärmeleitfähigkeit in Richtung der c-Achse des Graphits zu finden. Auf Kohle- und Graphitpulver sind die Fische und Waben bei gleichem Druck größer als auf Homogenkohle.

6. Die Größe der Fische nimmt mit der Korngröße linear zu, jedoch sind die Fische stets größer als das Korn. Die Erklärung für diese Abhängigkeit findet man in dem geringeren Wärmeleitvermögen des grobkörnigen Pulvers. Je kleiner das Korn ist, desto dichter und fester ist die räumliche Packung, und um so geringer der Übergangswiderstand für die Wärme.

7. Die Fische hinterlassen auf Kohlepulver zusammenhängende Partikelchen aus metallisch glänzendem Graphit. Oberhalb 20 cm Hg-Säule Luftdruck ist die erkaltete Pulveranode mit einem regelmäßig sechseckigen, reliefartigen Maschenwerk bedeckt. In einzelnen der Waben befinden sich die glänzenden Graphitpartikelchen. Auf Homogenkohle wurde eine ähnliche, allerdings nicht so regelmäßige Struktur vorgefunden.

Das Auffinden dieser räumlichen Wabenstruktur auf der erkalteten Anode bestätigte die Annahme, daß es sich bei dem LUMMER-Phänomen um einen elektrisch und chemisch bedingten Abbau der Anode durch kleine Teilbrennflecke, die Fische, handelt, und diese hinterlassen kleine Krater, die Waben.

8. DEBYE-SCHERRER-Aufnahmen der Homogenkohle, des vorsichtig abgehobenen Maschenwerkes und der glänzenden Partikelchen zeigten, daß eine in obiger Reihenfolge fortschreitende Rekristallisation des Kohlenstoffes stattfindet, wie der Vergleich mit einer Aufnahme von Ceylongraphit zeigte.

9. In einer eingeschlossenen Gasmenge setzte das LUMMER-Phänomen nach einer bestimmten Zeit, die vom Rauminhalt abhängig war, aus. Im gleichen Augenblick hörte stets auch der Abbau der Anode auf. Dies beweist wiederum, daß das LUMMER-Phänomen eine bestimmte Form des chemischen Abbaues der Anode darstellt, und somit nur dann auftritt, wenn ein mit dem Kohlenstoff reaktionsfähiges Gas vorhanden ist.

10. Die Abhängigkeit der Größe der Fische und Waben vom Druck (sie werden mit abnehmendem Druck bis zu einem unteren Grenzwert größer, dann hört das LUMMER-Phänomen auf) wird durch die Tendenz des Bogens, bei fester Stromstärke mit möglichst geringer Spannung zu brennen, erklärt. Mit abnehmendem Druck vergrößert sich die freie Weglänge; die Abkühlung der kleinen Bogensäule durch Diffusion steigt. Gleichzeitig sinkt die Anzahl der reaktionsfähigen Atome des Füllgases mit dem Kohlenstoff. Da dieser Prozeß stark exotherm verläuft, fällt auch die dabei frei werdende, den Bogenansatz aufheizende Wärmemenge fort. Der Kern des Bogens würde zu stark gekühlt und die erforderliche Brennspannung erhöht. Wenn dagegen der Bogenansatz seinen Querschnitt vergrößert, so bleibt der Bogen mit dem Minimum der Brennspannung stabil. Der Fisch wird größer.

Grundsätzliches: Das LUMMER-Phänomen stellt nach diesen Untersuchungen nicht den Schmelzprozeß des Kohlenstoffes dar, sondern eine Aufteilung des Kraters in kleine Teilbrennflecke unterhalb eines bestimmten Grenzwertes der Stromdichte.

Bedingung für das Auftreten des LUMMER-Phänomens ist die Anwesenheit eines mit dem Kohlenstoff reaktionsfähigen Gases. Die Kohle wird nur von den kleinen Teilbrennflecken, den Fischen, abgebaut. Sie hinterlassen als kleine Krater die Waben und springen, wenn diese eine bestimmte Tiefe erreicht haben, auf eine benachbarte, höher gelegene Stelle der Anodenstirnfläche über.

II. Untersuchungen im Überdruck am positiven Krater in verschiedenen Gasen

Von etwa 2 Atü. aufwärts trat auf der Anode ein völlig anderes Phänomen auf als die Fische und Waben. Der Anodenbrennfleck schrumpfte stark zusammen und bedeckte auch bei 0,5 Amp/mm² nicht die ganze Stirnfläche der Anode. Die Flächenhelligkeit nahm kontinuierlich zu, wie bereits von LUMMER (15) und KOHN und GUCKEL (5) festgestellt werden konnte. Überall dort, wo der Anodenbrennfleck angesetzt hatte, war die Anode von einer stark glänzenden, sehr dichten Schicht überzogen, die sich von dem körnigen Aussehen der Kohlestäbe wesentlich unterschied. Der Krater schien oft plötzlich zu erstarren, und dann breitete sich eine dünne „Schmelzschicht" langsam

wieder aus. Die Konturen wurden alle vollkommen rund, und wenn der Bogenansatz an eine andere Stelle überlief, so blieben kleine Mulden zurück, die innen mit der metallisch-glänzenden Schicht überzogen waren. Das Aussehen der erkalteten Anodenoberflächen wurde nun bei verschiedenen Drucken und auf verschiedenem Ausgangsmaterial unter dem Mikroskop untersucht.

Bei 4 Atü. fanden sich über die ganze Anodenstirnfläche kleine, glänzende Mulden verteilt. Diese Mulden ließen sich leicht im Ganzen abheben. Je höher der Druck war, um so gleichmäßiger überzog sich die ganze Stirnfläche mit dieser Kruste. Die Kruste wurde auch immer stärker. Stellenweise war die Oberfläche noch rauh, wie nur versintert, und mitunter trat auch die Oberfläche der unberührten Kohle zutage. Der Bogen brannte nur noch sehr schlecht und erlosch leicht. Bei 8 Atü. war der Bogen nur noch bei Elektrodenabständen von höchstens 1 mm zu unterhalten. Außerdem trat die Rußbildung immer stärker in Erscheinung. Die Kraterfläche überzog sich mit einer mehrere Zehntel mm starken festen Kruste, die wellig verworfen war und sich in einem Stück abheben ließ. Bei wachsender Strombelastung wurde die Rußbildung ebenfalls immer stärker. Die Rußflocken flogen mit großer Geschwindigkeit radial von Anodenbrennfleck in allen Richtungen fort. Die Anode wurde infolgedessen sehr stark abgebaut, während an der Kathode sich ein Bart von sublimiertem Kohlenstoff bildete, wodurch diese wuchs und bald die Anode verdeckte. Diese Krusten entstanden also immer an der heißesten Stelle der Anode, nämlich dem Anodenbrennfleck selbst. Um ein Sublimationsprodukt konnte es sich an der heißesten Stelle nicht handeln. Außerdem wuchsen, wie in der Projektion leicht zu beobachten war, auch an den kälteren Stellen der Anode durch Sublimation bäumchenartige Gebilde, die aber, sobald der Brennfleck in die Nähe kam, fast augenblicklich verschwanden.

Über die Entstehungsart dieser Krusten, ob es sich um Schmelzkrusten oder um Rekristallisation handelt, kann auf Grund der bisherigen Untersuchungen nicht entschieden werden. Dazu sind weitere Arbeiten nötig. Es soll hier nur das recht interessante Material gezeigt werden, da das Vorhandensein dieser Krusten auf der Anode des Kohlelichtbogens bisher nicht bekannt war. Die Mikroaufnahmen wurden mit einem Mikroluminar F = 16 mm mit eingebauter Irisblende gemacht, das mir von der Firma Winkel-Zeiss, Göttingen freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde, wofür ich an dieser Stelle besonders danken möchte.

Ähnliche Krustenbildung wurde von KOHN und GUCKEL (16) und auch von PODSZUS (17) beobachtet, jedoch nicht weiter untersucht.

Die Krusten auf den Stirnflächen der erkalteten Anoden und diese selbst wurden dann zur weiteren Untersuchung der Krusten

an den interessierenden Stellen möglichst glatt senkrecht zur Stirnfläche geschnitten. Dabei zeigte sich, daß die Krusten an verschiedenen

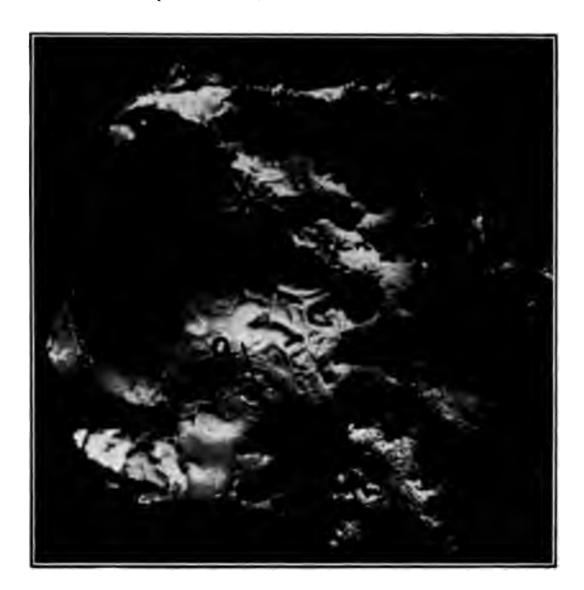


Fig. 20. Erkaltete Anodenstirnfläche auf Siemens-Plania-Homogenkohle, Stickstoffatmosphäre 5 Atü.



Fig. 21. Schnitt durch die Kruste der Fig. 20.

Stellen recht verschieden stark waren. Die Krusten zeigten im Schnitt unter dem Mikroskop in etwa 40facher Vergrößerung immer eine mehr

oder weniger gute, oft stark verworfene Schichtung parallel zur Oberfläche. Diese Schichtung schien durch ein Fließen entstanden zu sein. Die Anode der Fig. 20 wurde geschnitten und mikroskopisch photographiert (Fig. 21).



Fig. 22. Auf Siemens-Plania-Homogenkohle bei 8 Atü. Argon gebildete Kruste.

Der Unterschied zwischen der Kruste und dem Sublimationsprodukt war deutlich. Das Sublimations produkt ist poröser und steht über die übrige Anodenfläche hinaus. Die Krusten hingegen sind sehr dicht, und ihre Oberfläche ist völlig glatt. Manche der Schichten brechen plötzlich ab, als ob eine neue Schicht darüber hingeflossen wäre und eine hervorragende Stelle der älteren wieder weggeschmolzen hätte. Oft sind auch Wirbelbildungen zu erkennen wie bei einer Stauung. Deutlich istder Unterschied zwischen der Kruste und der übrigen Homogenkohle, die vollständig unorientiert und körnig ist, zu erkennen. Hingegen ist die Struktur der Sublimationsprodukte körnig und ähnlich der des Ausgangsmaterials.



Fig. 23. Schnitt durch die Kruste der Fig. 22.

Um saubere Versuchsbedingungen zu erzielen, wurden die gleichen Versuche in Argon ausgeführt. Es entstanden im wesentlichen stets



Fig. 24. Schnitt durch eine auf h k 0 des Ceylongraphits bei 5 Atü. Stickstoff gebildete Kruste.



Fig. 25. Schnitt durch eine in Stickstoff bei 10 Atü. auf h k 0 gebildete Kruste.

die gleichen Krusten wie in Stickstoff. Ein Unterschied bestand lediglich darin, daß die Krusten erst bei höheren Drucken auftraten als in Stickstoff. Unter 6 Atü. Argon waren solche nicht zu erzielen, während sie

im Stickstoff, wie bereits erwähnt, schon bei 2 Atü. auftraten, was wiederum auf eine geringere Temperatur des Anodenkraters in Argon (vgl. auch Kapitel I, 5.) schließen ließ. Eine solche im Argon erhaltene Kruste ist unter Fig. 22 reproduziert, einen Schnitt durch diese Kruste zeigt Fig. 23. Die Rußbildung fiel vollkommen fort und trat auch bei sehr kleiner Bogenlänge (Zischbogen) nicht auf. Nach dem Brennen von mehr als einer Stunde betrug der Substanzverlust an der Anode nur wenige mm^3. Auch hier zeigte die Kruste wiederum die Schichtung. Diese Tatsache erübrigte ein weiteres Arbeiten in Argon, und es wurde weiterhin immer in Stickstoff gearbeitet.



Fig. 26. Auf 0 0 1 des Ceylongraphits in Stickstoff von 8 Atü. gebildete Kruste.

Im folgenden wurde dann verschiedenes Ausgangsmaterial verwendet. Auf Kohlepulver schien die Kruste an manchen Stellen lediglich aus Körnern zusammengesintert, an anderen Stellen dagegen infolge Spannungen beim Abkühlen gerissen. Graphitpulver zeigte eine ganz ähnliche Struktur nach dem Brennen wie Kohlepulver. Auffällig war der geringere Glanz der gebildeten Krusten gegenüber dem eingefüllten Graphitpulver. Wesentlich ist, daß in beiden Fällen, wo Pulver in eine ausgebohrte Kohle eingefüllt war, die Kruste den Kohlerand und das Pulver gleichmäßig bedeckte und nach dem Brennen kein Übergang mehr festzustellen war. Auch auf Ceylongraphit auf verschiedenen kristallographischen Flächen trat die Kruste

wie in allen bisher beschriebenen Fällen auf. Sowohl auf h k 0 (Fig. 24 und Fig. 25) als auch auf 0 0 1 (Fig. 26) war das Bild völlig das gleiche.

Die Schichtung der Kruste nach dem Brennen verlief immer parallel zur Brennfläche. Auch in diesen Fällen war der Übergang vom Kohlerand auf den kristallinen Graphit nicht zu erkennen, die Hohlräume waren oberflächlich ausgefüllt, wie vollgelaufen.

III. Untersuchungen über die Temperatur des Anodenkraters

Wie in Kapitel I, 5. mitgeteilt wurde, wird im Argon die Kohle nicht abgebaut und tritt auch das LUMMER-Phänomen nicht auf. Es wäre demnach die sich einstellende konstante Temperatur des positiven Kraters nicht als Sublimationstemperatur zu erklären. Daß es sich entgegen der Ansicht von LUMMER jedoch nicht um die Schmelztemperatur handelt, wurde in Kapitel I ausführlich dargelegt.

Bei der subjektiven Betrachtung des Kraters mittels der Projektion erweckte dieser im Argon unter völlig gleichen Bedingungen der Abbildung den Eindruck, daß er dunkler war als in Luft. Daß die Bildung der Krusten im Argon erst bei höheren Drucken eintrat als in Stickstoff, ließ ebenfalls eine niedrigere Temperatur vermuten. Der Krater bedeckte dabei die gesamte Stirnfläche der Anode, und die Stromstärke war so hoch, daß entsprechend den Arbeiten von KOHN und GUCKEL (18) die Helligkeitskonstanz des positiven Kraters unter allen Umständen erreicht sein mußte. Diese Beobachtungen verschiedener Temperaturen des positiven Kraters bei gleichem Druck in verschiedenen Gasen würden also den Messungen von KOHN und GUCKEL (5) widersprechen, wonach die Temperatur des positiven Kraters oberhalb einer bestimmten Grenzbelastung in allen Gasen die gleiche ist.

Tabelle 1

Amp/mm²	J_0	J	$\log J_0/J$
	Argon	1 Atm.	
2,85	705	600	0,06967
2,85	610	470	0,11294
2,85	614	468	0,11727
2,85	620	532	0,06633
2,85	615	538	0,05805
	Luft	1 Atm.	
1,02	523	272	0,28443
0,61	522	274	0,28103
0,76	521	285	0,26198
0,92	524	290	0,26596
2,05	530	300	0,25888
1,02	519	275	0,27600

Eine Bestätigung der Helligkeitsunterschiede wurde qualitativ durch Aufnahmen des positiven Kraters in Luft und Argon auf einen Leicafilm gefunden. Der Schlitzverschluß lieferte gut reproduzierbare Belichtungszeiten, sodaß die Kraterbilder photometriert werden konnten. Die erhaltenen Schwärzungen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Der Mittelwert der Schwärzung für Argon ist also 0,08485 und für Luft 0,27138. Das Intensitätsverhältnis des Kraters in Luft und Argon wäre demnach rund 3 : 1. Die größere Streuung der Werte in Luft dürfte, da mit orthochromatischem Film und ohne Filter gearbeitet wurde, durch das zeitweilig auftretende blaue Bogenleuchten bedingt sein. Die zwei hohen Werte im Argon sind durch Luftbeimengung entstanden, da der Behälter zwischendurch ausgepumpt worden war, aber nicht von neuem mit Argon gespült wurde.

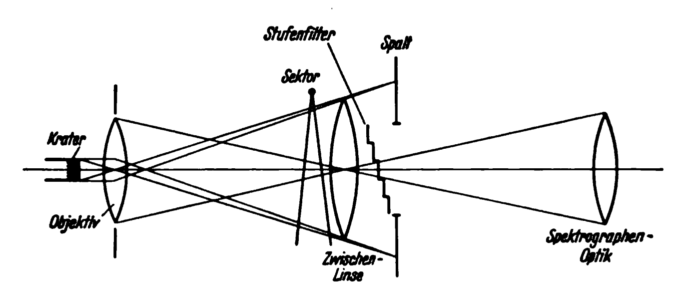


Fig. 27. Aufbau zur Temperaturmessung.

Um von derartigen Einflüssen, die unter Umständen ein völlig falsches Bild vortäuschen konnten, unabhängig zu sein, wurden die Flächenhelligkeitsmessungen am positiven Krater in Luft, Stickstoff und Argon mit Hilfe eines Spektrographen durch Photometrieren der Schwärzungen, die vom Kontinuum durch Vorschalten eines Stufenfilters erhalten wurden, wiederholt. Der Aufbau ist in Fig. 27 skizziert.

Der Anodenkrater wurde etwa 5fach vergrößert auf den Spalt des Spektrographen abgebildet. Als Verschluß diente ein Sektor, der durch einen Synchronmotor angetrieben wurde, um reproduzierbare Belichtungszeiten zu erhalten. Dicht vor dem Spalt befand sich ein Platinstufenfilter der Firma Carl Zeiss, Jena mit den Stufen 100, 41, 17,4, 7,16, 3,07 % Durchlässigkeit. Die Belichtungszeit mit Hilfe des Sektors betrug $^1/_{10}$ sec.; der Spalt war $^4/_{100}$ mm breit. Um eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung zu erzielen, wurde das Objektiv mit Hilfe einer geeigneten Linse in die Spektrographenoptik abgebildet. Die Reproduzierbarkeit der Schwärzungskurven

war, wie die Fig. 28 zeigt, sehr gut. Der Durchmesser der Kreise gibt die maximale Streuung von vier Aufnahmen wieder. Die Werte der Schwärzungskurven sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2

100	41	17,4	7,16	3,07	%
		J_0 = 600 Skalenteile			
17	41,5	108	258	482	J
35,3	14,5	5,55	2,33	1,29	J_0/J
17	41	105	260	472	J
35,3	14,6	5,7	2,31	1,27	J_0/J
17	42	106	257	476	J
35,3	14,3	5,65	2,33	1,26	J_0/J
17	42	105	262	478	J
35,3	14,3	5,7	2,29	1,25	J_0/J

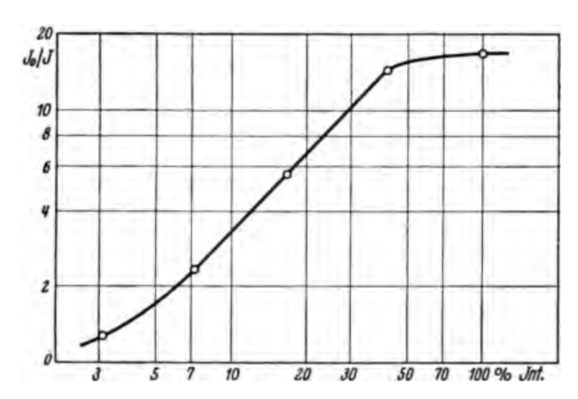


Fig. 28. Reproduzierbarkeit von 4 Schwärzungskurven.

Nachdem diese gute Reproduzierbarkeit erreicht war, wurde der positive Krater dreimal in Argon und zweimal in Luft jeweils bei 1 Atm. Druck aufgenommen und die Schwärzungskurven des Kontinuums photometriert.

Die Belastung betrug im Argon 3,0 Amp./mm², in Luft 0,8 Amp./mm². Beide Werte sind nach Kohn und Guckel (18) ausreichend, um Helligkeitskonstanz des positiven Kraters zu erzielen.

Aus den horizontalen Abständen der Schwärzungskurven wurden dann jeweils die Intensitätsverhältnisse gegenüber dem positiven Krater der in freier Luft brennenden Bogenlampe ermittelt und mit Hilfe der Wienschen Strahlungsformel die schwarze absolute Temperatur berechnet, da die wahre Temperatur infolge der Unsicherheit über den Wert des Absorptionskoeffizienten des Kohlenstoffes nicht

berechnet werden konnte. Für die absolute schwarze Temperatur des positiven Kraters der in freier Luft brennenden Bogenlampe wurde der neueste, von HENNING und THINGWALDT (19) angegebene Wert von 3818° absolut zugrunde gelegt. Es ergab sich dann aus

$$\frac{J_1}{J_2} = e^{-\frac{c_2}{\lambda}\cdot\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)}$$

mit $T_1 = 3818°$ absolut, $c_2 = 1{,}43$ cm · grad und $\lambda = 6500$ Å der reziproke Wert der gesuchten Temperatur zu

$$\frac{1}{T_2} = 2.611 \cdot 10^{-4} + 0{,}948 \cdot 10^{-4} \cdot \log \frac{J_1}{J_2}$$

Zur bequemeren Rechnung wurde J_1 immer = 10 gesetzt. Es ergab sich damit für die absolute schwarze Temperatur des positiven Kraters der in Argon bei einer Atm. brennenden Bogenlampe

J_2	$1/T_2\ 10^{-4}$	T_2° abs.
4,7	2,921	3423
4,9	2,904	3443

Als Mittelwert ergab sich 3433° absolute schwarze Temperatur. Das bedeutet im Gegensatz zu dem Ergebnis von KOHN und GUCKEL (5) gegenüber der Temperatur des positiven Kraters der in freier Luft brennenden Bogenlampe einen Temperaturunterschied von rund 400° abs.

Weiterhin wurde dann eine Reihe von Aufnahmen zur Bestimmung der Temperaturkurve in Abhängigkeit vom Druck in Luft gemacht. Und zwar bei 1, 0,8, 0,6, 0,4, 0,2 Atm. Druck. Aus den Schwärzungskurven ergaben sich die in Tabelle 3 zusammengestellten Intensitätsverhältnisse und die daraus berechneten Temperaturen.

Tabelle 3

J_2	$1/T_2 \cdot 10^{-4}$	T_2° abs.	P Atm.
10,0	2,611	3818	1,0
8,8	2,663	3755	0,8
8,0	2,702	3700	0,6
7,2	2,745	3646	0,4
5,8	2,835	3527	0,2

Für Stickstoff wurden dann aus den in Fig. 29 reproduzierten Schwärzungskurven ebenfalls die Intensitätsverhältnisse im Intervall von 1,0 bis 0,2 Atm. ermittelt und bezogen auf die abs. schwarze

Temperatur des positiven Kraters der in freier Luft brennenden Bogenlampe die gesuchten schwarzen Temperaturen berechnet.

Tabelle 4 enthält die so ermittelten Temperaturen in Abhängigkeit vom Druck in Stickstoff.

Tabelle 4

J_2	$1/T_2 \cdot 10^{-4}$	$T_2{}^0$ abs.	P Atm.
10,0	2,611	3818	Luft 1
6,0	2,821	3544	N_2 1,0
6,05	2,817	3549	N_2 1,0
5,4	2,862	3494	N_2 0,8
4,6	2,930	3413	N_2 0,4
4,1	2,976	3351	N_2 0,2
4,0	2,988	3346	N_2 0,2

Fig. 29. Schwärzungskurven in Abhängigkeit von der eingestrahlten Intensität mit dem Druck als Parameter in Stickstoff.

In Stickstoff brennt der Bogen sehr unruhig, und der Krater flackert infolgedessen sehr stark. Deshalb konnten nicht alle Aufnahmen ausgewertet werden, sondern nur diejenigen, bei denen eine völlig gleichmäßige Ausleuchtung des Spektrographenspaltes garantiert war. Das war aber sehr leicht festzustellen, da nur dann die Schwärzungskurven parallel verlaufen.

Alle für den positiven Krater in Luft, Stickstoff und Argon erhaltenen absoluten schwarzen Temperaturen wurden in Fig. 30 in Abhängigkeit vom Druck in einem Diagramm eingezeichnet. Der Druck in logarithmischer Teilung, die reziproken Temperaturen linear.

Es zeigte sich, daß die Temperatur-Druckkurven parallel verlaufen. Für Argon konnte die gleiche Kurve wegen des großen Rauminhaltes des Behälters von 30 Litern und des dadurch bedingten großen

Argonverbrauches leider nicht ausgeführt werden; es ist jedoch wahrscheinlich, daß auch diese Kurve zu den in Luft und Stickstoff erhaltenen parallel verlaufen würde.

Da in Stickstoff sowohl für 1 Atm. als auch für 0,2 Atm. je 2 Aufnahmen auf verschiedenen Platten vorlagen, konnte die gute Reproduzierbarkeit der erhaltenen Werte nochmals festgestellt werden.

Diese Temperaturmessungen am positiven Krater in verschiedenen Gasen lassen folgendes Ergebnis sicher aussprechen:

Die Temperatur des positiven Kraters ist bei gleichem Druck in verschiedenen Gasen nicht gleich.

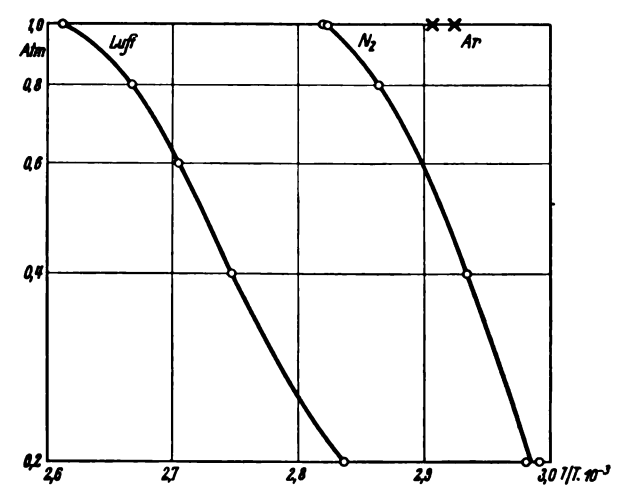


Fig. 30. Abhängigkeit der absoluten schwarzen Temperaturen des positiven Kraters in Luft, Stickstoff und Argon vom Druck im Intervall 1,0—0,2 Atm.

Die erhaltenen Temperaturwerte stellen keinesfalls Festwerte dar, da die Temperaturen von der Reinheit des Gases abhängig sein müssen, aber sowohl der Stickstoff, als auch das Argon ohne besondere Reinigung aus den Druckflaschen entnommen wurden.

Meinen Lehrern, Herrn Dozent Dr. MANNKOPFF und dem Direktor des Institutes, Herrn Professor Dr. DRESCHER-KADEN, auf dessen Anregung hin diese neuen Untersuchungen über das LUMMER-Phänomen ausgeführt wurden, möchte ich für die freundliche Förderung dieser Arbeiten und das rege Interesse daran hiermit bestens danken.

Göttingen, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität am 14. November 1938.

Literaturverzeichnis

1. Verlag Vieweg, Braunschweig 1914.
2. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 82.
3. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 76.
4. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 105f.
5. H. KOHN und M. GUCKEL, Untersuchungen am Kohlelichtbogen. Zeitschr. für Physik 27, 1924, S. 339.
6. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 84.
7. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 93ff.
8. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 127.
9. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 113.
10. O. RUFF, G. SCHMIDT und W. OLBRICH, Amorpher Kohlenstoff und Graphit. Zeitschr. für anorg. Chemie 148, 1925, S. 313—331.
11. HOFMANN und WILM, Zeitschr. für Elektrochemie 42, 1936, S. 504—522.
12. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 128.
13. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 89.
14. A. GÜNTHERSCHULZE, W. BÄR und H. BETZ, Die Gesetzmäßigkeiten der Anodenglimmhaut und ihre Beziehung zu den Gesetzmäßigkeiten der geschichteten positiven Säule in Wasserstoff und Stickstoff. Zeitschr. für Physik 109, 1938, S. 293—311.
15. LUMMER, Verfl. der Kohle, S. 122ff.
16. H. KOHN und M. GUCKEL, Untersuchungen am Kohlelichtbogen. Zeitschr. für Physik 27, 1924, S. 352.
17. E. PODSZUS, Der positive Krater. Zeitschr. für Physik 19, 1923, S. 24.
18. H. KOHN und M. GUCKEL, Untersuchungen am Kohlelichtbogen. Zeitschr. für Physik 27, 1924, S. 318.
19. HENNING und THINGWALDT, Die Temperatur der Acetylen-Sauerstoffflamme. Zeitschr. für Physik 48, 1928, S. 813.

Mikroskopische und chemische Untersuchungen an Kongsberger Silbererzen [1])

Von JOACHIM LIETZ, Hamburg

Mit 29 Textfiguren

Inhalt

---

[1]) Die vorliegende Abhandlung wurde eingereicht zur Erlangung der Würde eines Dr. rer. nat. habil. in der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Hansischen Universität zu Hamburg.

A. Übersicht über Geologie und Petrographie von Kongsberg

Kongsberg liegt 80 km westlich von Oslo am Fuß Numedalslaagen in einem Gebiet, das fast ausschließlich von präkambrischen Gesteinen aufgebaut wird, deren eingehende Untersuchung wir hauptsächlich C. Bugge (11) und A. Bugge (5, 6, 7 und 9) verdanken.

Die ältesten Gesteine sind die sog. gebänderten oder dioritischen Gneise, die aus abwechselnden dunklen Streifen eines Amphibolites mit Hornblende und basischem Plagioklas und hellen Streifen eines aus Quarz und Oligoklas bestehenden Quarzdiorites gebildet werden. Der Quarzdiorit wurde in den älteren Amphibolit intrudiert. Überall zeigen die Gesteine die Spuren von Stress und Druck.

N—S streichend treten kiesimprägnierte Zonen auf, die berühmten Kongsberger Fahlbänder. Jüngere Quarzadern durchsetzen die kiesführenden Streifen sowie den dioritischen Gneis und veranlassen durch Auflösung und nachträglichen Absatz die Neubildung von Erzen wie Magnetkies, Kupferkies und in geringerem Maße von Zinkblende und Bleiglanz.

Die nächste Phase der orogenetischen Tätigkeit bestand in der Intrusion einer Reihe von basischen Gesteinen, die in Gängen und Gängchen auftreten. Sie zeigen verschiedenen Mineralbestand und unterschiedliche Ausbildung, so daß eine Reihe von Namen dafür in Gebrauch ist wie Norit, Hyperit, Vinordiabas u. ä. Von A. Bugge werden sie alle als Gabbros zusammengefaßt. Breitere Gänge haben randliche Anhäufungen von Magnetit, Ilmenit und Kiesen, die wie die Fahlbänder zur Ausscheidung edler Silbererze Veranlassung geben können.

Unmittelbar nach Verfestigung der basischen Intrusionen und im Zusammenhang mit ihnen setzt A. Bugge die Granitbildung an. Unter den Graniten sind verschiedene Typen bekannt wie ein fein- bis mittelkörniger in den äußeren Teilen des Massives und ein grobkörniger sog. Kongsberggranit im Inneren, der das jüngste Glied der Eruptivreihe ist.

Westlich von Kongsberg wird das Gebiet begrenzt von einer N—S verlaufenden großen Bruchzone, zu der parallel eine kleinere sich zwischen dem Ort Kongsberg und dem Unterberg hinzieht. Daneben haben sich noch weitere, senkrecht zur ersten Richtung streichende Bruchsysteme gebildet, die mit Quarz, wenig Kalkspat, Sulfiden und viel Nebengesteinsbruchstücken gefüllt sind. C. Bugge (10) bezeichnet diese als Gänge 1. Generation. A. Bugge (7) weist nach, daß das Alter dieser Gänge und der folgenden post-permisch ist. Eine größere Anzahl von etwas jüngeren Basaltgängen (Kongsberg-Diabase) folgen dem Streichen sowohl des ost-westlichen wie des nordsüdlichen Spaltensystems.

Als jüngste Bildung entstanden die sog. Gänge der 2. Generation. Karbonatische Lösungen kamen auf den O—W ziehenden Spalten hoch und mit ihnen das Silber, das im Gebiet der Fahlbänder auf Gängen von Papierstärke bis zu 10 bis 30 cm, ja gelegentlich bis 1 bis 2 m Mächtigkeit zur Ausscheidung gelangte. Aus geologischen Gründen kommt C. Bugge (12) zu der Annahme, daß die Lösungen einem Magma des Oslo-Gebietes, wahrscheinlich dem Drammensgranit entstammen.

Die Silberführung dieser Gänge ist nach der mehr als dreihundertjährigen Erfahrung der Kongsberger Bergleute geknüpft an die Schnittpunkte zwischen den Fahlbändern und den dazu annähernd senkrecht verlaufenden edlen Kalkspatgängen. Ihren Ausdruck fand diese Beobachtung in der sog. Kreuzregel: Ohne Gang und Fahl kein Silber, die von C. Bugge dahin abgeändert wurde, daß Gänge dort silberführend sind — oder sein können —, wo sie Kies- oder Gesteinsbänder kreuzen[1]).

Die Rolle der Fahlbänder und besonders ihr Einfluß auf die Silberanreicherung ist stark umstritten. Teils wird eine chemische, teils eine elektrolytische Wirkung der Fahlbänder angenommen, teils wird ihnen nur eine Rolle als Schwächezone zugeschrieben. Ein Eingehen auf diese Frage, die nur vom Berggeologen bei genauer Kenntnis aller geologischen, petrographischen und erzmikroskopischen Einzelheiten gelöst werden kann, muß im Rahmen dieser Schrift unterbleiben. Verwiesen sei hierzu auf die neueren Abhandlungen von C. Bugge (11), A. Bugge (6, 7, 8), A. Holter und R. Stören (22), A. Holter (20, 21) und R. Stören (55).

Der Abbau des Silbers in Kongsberg erfolgte in den letzten Jahren vor allem auf der Kongensgrube, der Grube Gottes Hülfe in der Noth, der Holtergrube – einem Schräggang im östlichen Feld der Grube Gottes Hülfe — und auf dem östlichen Teil des Haus-Oldenborg-Ganges. Der Hauptgang der Kongensgrube ist auf ungefähr 1100 m abgesenkt, während im nördlichen Teil auf rund 900 m Teufe gebaut wird.

B. Die Erzmineralien von Kongsberg

Die Mineralien der Kongsberger Gruben beschreibt ausführlich Th. Münster (32)[2]), der allerdings in erster Linie den Drusenräumen Aufmerksamkeit zuwendet. Er gibt folgende Altersreihe an: 1. Quarz, Kohlenblende, 2. Silber, 3. Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende, Pyrit, Magnetkies, 4. Kalkspat I, 5. Fluorit, 6. Albit (Silberglanz), 7. Fluorit und weiterhin Kalkspat II—IV, Axinit, Zeolithe und Stephanit.

[1]) R. Stören machte Verf. freundlichst darauf aufmerksam, daß sich an den Kreuzungsstellen durchgängig größere Mengen von freiem Quarz finden.

[2]) Dort gibt Münster auch eine Zusammenstellung des sehr umfangreichen älteren Schrifttums.

CHR. A. MÜNSTER (34) stellt sämtliche bis dahin von Kongsberg bekanntgewordenen Erzmineralien zusammen. Es sind neben den oben erwähnten noch: goldhaltiges Silber, Silberamalgam, Akanthit, Hornsilber, Pyrargyrit, Proustit, Arsensilber (?), Stahlerz (ein dort neuentdecktes Mineral $n\,[(Fe, Co)\,(As, Sb, S)_2] + (Ag, Cu)_2\,(As, Sb, S)$; $n \approx 13$) Arsen (von der Helgevandsgrube), Arsenkies (von Jonsknuten, Skara und Süd-Vinoren), Speiskobalt (erwähnt bei Vargas Bedemar (34)) und einige Eisenerze. Er ordnet die Erze in drei verschiedene Altersgruppen ein, innerhalb derer die Mineralien von links nach rechts aufeinander folgen. Die untereinander stehenden sollen ziemlich gleichzeitig entstanden sein; falls Altersunterschiede da sind, steht das älteste Mineral oben.

I. Altersgruppe

a)	b)	c)	d)
Quarz	Silberglanz	Magnetkies	Kalkspat I
Kohlenblende	Rotgültig	Zinkblende	Silber
Silber	sek. Silberglanz	Pyrit	sek. Silber (?)
Silberglanz		Bleiglanz	
Arsen (?)		Kupferkies	

II. Altersgruppe

a)	b)
Flußspat I	Schwerspat
Albit	Axinit, Adular[1])
Flußspat II	Kalkspat II
Adular[1]), Pyrit	

III. Altersgruppe

a)	b)	c)	d)
Kalkspat III	Pyrit	Silbit	Kalkspat IV
	Stephanit	Harmotom	
		Prehnit	
		Laumontit	

Zwischen den Gruppen I und II besteht ein wesentlicher Altersunterschied. Mit dem Kalkspat I ist die eigentliche Spaltenfüllung beendet. Die jüngeren Mineralien, besonders die weiteren Kalkspatgenerationen, sind sekundäre Bildungen. Die erzbringenden Lösungen enthielten das Silber gelöst als Bikarbonat, aus denen es durch elektrische Ströme abgeschieden wurde.

J. H. L. VOGT (63) bestätigt im wesentlichen die MÜNSTERsche Altersfolge der Erze, dagegen vertritt er die Theorie der Entstehung der Hauptmenge des Silbers aus Silberglanz durch Reduktion.

In einer Reihe von Untersuchungen werden von R. STÖREN (52, 53, 55, 56) und A. HOLTER und R. STÖREN (22) Silbererze und Gangproben makroskopisch beschrieben und z. T. analysiert, um durch ein größeres, exaktes Beobachtungsmaterial die Grundlagen für neuzeitliche Anschauungen über die Entstehung dieser Lagerstätte zu gewinnen.

---

[1]) Es ist kein Adular, sondern Hyalophan (BUGGE) (11).

HOLTER und STÖREN (22) stellen folgende Einteilung der Silbererze auf.

1. Nahezu chemisch reines Silber.
   a) Silber auf Silberglanz, z. B. Drahtsilber, Überzüge auf Silberglanz, Bleche, Platten, Kittsilber im Quarz.
   b) Silber ohne Silberglanz, aber sicher daraus entstanden, z. B. blätterig aufgebaute Klumpen, Kittsilber mit Silberkristallen im Kalkspat oder Quarz.
   c) Silber ohne nachweisbare Beziehungen zum Silberglanz, z. B. einzelne Silbermassen, Blattsilber im Nebengestein.
2. Verunreinigtes Silber.
   a) Silber in Kristallen in Drusenräumen mit einem Gehalt an Quecksilber und Antimon.
   b) Moossilber, Silberbäumchen und zu Gittern verwachsene Kristallstengelchen mit einem Gehalt an Quecksilber, Antimon und Überkrustungen von Nickel-Kobaltarseniden.
   c) Schwammiges Gittersilber mit einem Gehalt von Nickel-Kobaltarseniden als Gangfüllung mit Flußspat und Graphit.

In einer etwas späteren Arbeit faßt STÖREN (57) noch einmal die Silberarten zusammen, worin einzelne der Gruppen vereinigt sind und Silberglanz und Stephanit eingehender behandelt werden. Auch auf den schon früher gelegentlich erwähnten (HERMELIN (19) und CHR. A. MÜNSTER (33)) Kobalt- und Nickelgehalt der Silbererze geht R. STÖREN in einer besonderen Arbeit (53) ein und weist auf die silberfällende Wirkung der Kobalt-Nickelarsenide hin.

C. Mikroskopische Untersuchung der Kongsberger Silbererze

Der folgende Abschnitt bringt die Ergebnisse der erzmikroskopischen Untersuchung einer größeren Anzahl von Silberstufen, die Herr Bergingenieur R. STÖREN zur Verfügung stellte. Die Erze stammen von den Gruben Gottes Hülfe in der Noth, nördlicher Gangzug, Haus Oldenborg, Kongens, nördlicher Gangzug und Holtergrube.

Im einzelnen kamen die Stücke der Kongensgrube hauptsächlich aus 636 m Teufe, wo in einem Quarzglimmerschiefer dendritisches gediegenes Silber mit Flußspat in der Gangart vorherrscht. Blattsilber findet sich auf Trümern im Nebengestein. Ferner trifft man auf anderen Gängen Silberglanz und daraus entstandenes Silber. Die Stufen der Grube Gottes Hülfe stammen aus 690 m Teufe. Dort findet sich in einem hellen gepreßten Diorit mit geringem Kiesgehalt Silber und Silberglanz in dünnen Platten. Weiter südlich ist ein ziemlich mächtiger Gang mit Brekzienmaterial und gediegenem Silber mit Quarz, Flußspat und Kalkspat angefahren. Die Proben der Holtergrube waren aus 250 m Teufe, aus ähnlicher Teufe kamen auch die flußspathaltigen Stücke des Abbaus der Grube Haus Oldenborg.

Einzelheiten über die Ausbildung der Gänge bringt R. STÖREN (54) in einer noch nicht gedruckten Abhandlung.

I. Gediegenes Silber, das durch Verdrängung von Nickel-Kobalt-Arseniden entstanden ist

1. Gangförmige Erze

a) Normale Silbererze

Die Bildung der primären Silbererze spiegelt sich am klarsten wider in einer Reihe von ziemlich dichten Gangstücken aus verschiedenen Gruben, die von R. Stören als Zementsilber bzw. als schwamm'ges Gittersilber seiner Gruppe 2c bezeichnet wurden.

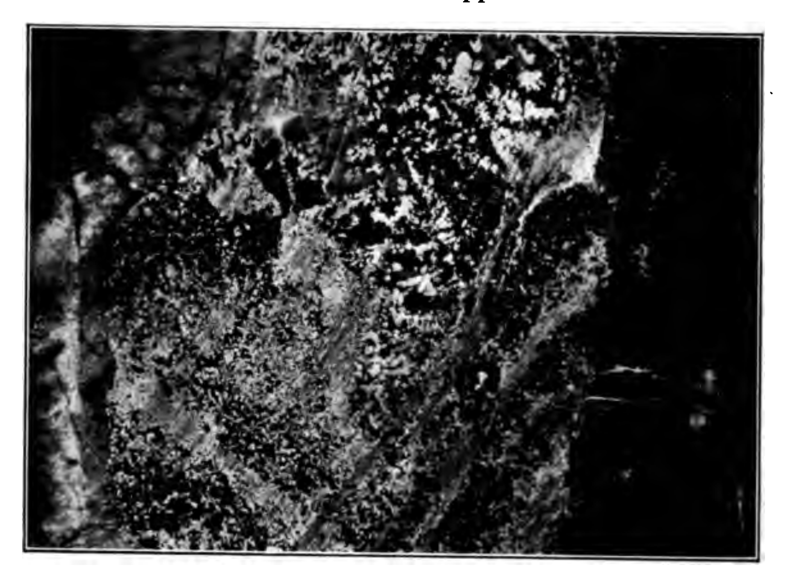


Fig. 1. Haus Oldenborg, Ostpartie. Übersichtsbild. Sehr mächtiger Gang. Silber (weiße Körner), Kalkspat (graue Gangart). Mitte oben einige Bruchstücke von Flußspat (schwarz). Am linken Salband ein Streifen von jüngstem Feldspat. — Vergr. 1,5 ×.

Meistens sind es wenige Millimeter bis zu einigen Zentimetern mächtige Gänge, die sowohl im Amphibolit wie im Quarzbiotitgranit auftreten. Der Verband gegen das Nebengestein ist nicht selten durch eine feine, den Erzgang überziehende Kohlenstoffschicht gelockert.

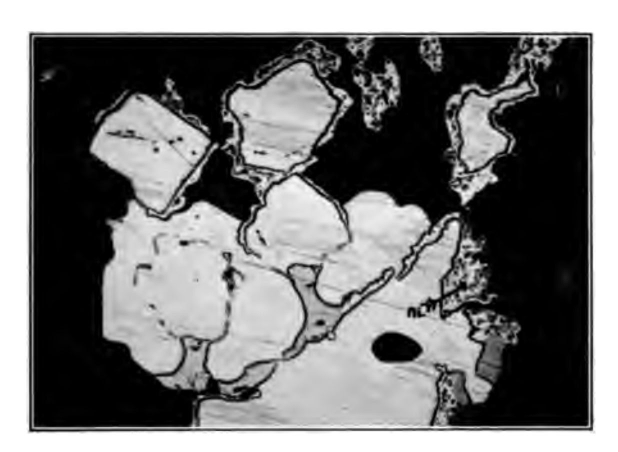
Das Salband kann von milchigem Quarz gebildet werden, der in den Gang hineinwächst und das Nebengestein imprägniert. Bei anderen Stufen setzt das Salband scharf gegen das gleiche Nebengestein ab. Siehe Fig. 1.

Die älteste Vererzung der Silbergänge erfolgte durch Nickel-Kobalt-Arsenlösungen, die in dendritischen Formen und mehr oder weniger isometrischen Aggregaten zur Ausscheidung kamen. Die sehr gute Politur, das hohe Relief und der etwas bläulich weiße Farbton

en sofort gegen das Silber auf. Bei gekreuzten Polarisatoren ist Erz völlig isotrop. Gegen konzentrierte Salpetersäure als Ätzmittel es äußerst beständig und überzieht sich erst bei 30 Sek. Ätzdauer einzelnen Stellen mit einem dünnen Ätzhäutchen. Es handelt sich) um die Hauptkomponente (III) von Speiskobalt - Chloanthit h SCHNEIDERHÖHN-RAMDOHR (50).

Die mikrochemische Analyse rein herauspräparierter Stückchen ;t vorherrschenden Nickelgehalt.

R. STÖREN (53, 22) und E. JENSEN (24) geben 7 Analysen von)ererzen an, bei denen der Nickel-Kobalt- und Arsengehalt bestimmt :de. Daraus berechnet sich das Verhältnis Ni/Co: 1,5; 1,0; 1,4;



2. Gottes Hülfe, n. G.. 690 m T.[1]) Chloanthit (weiß, hohes Relief) als engebliebene Kruste, enthält etwas Rotnickelkies (ni →), verdrängt durch lineral b (grau), das selbst von Silber (weiß) verdrängt ist. — Vergr. 75 ×.

; 1,6; 0,5 und 1,2, also überwiegt Nickel. Das Mineral ist also kobaltreicher Chloanthit.

Die Formen des Chloanthites sind meist mehr oder weniger unregelßig isometrische Krusten, wie man besonders deutlich unter dem ıokularmikroskop erkennt. Als feine Rändchen, gelegentlich mit gesprochen fünfeckigem Querschnitt erscheinen sie im Anschliff. stärkerer Vergrößerung sieht man eine ziemlich glatte Grenze der nder nach innen, während sie nach außen spitzenartig gezackt ist ;. 2, 3). Der Durchmesser der Chloanthitschalen kann bis zu 1 mm ragen, ist aber meist wesentlich kleiner, während die Stärke des ndes 0,01 bis 0,002 mm ist.

Sehr vereinzelt findet man in den Chloanthiträndchen eingelagert 'as Rotnickelkies (Fig. 2). Das durch Farbe, Anisotropie und Härte

[1]) Nördlicher Gangzug, 690 m Teufe.

leicht erkennbare Erz macht mengenmäßig kaum $^1/_{10}$ des Chloanthites aus und ist gleichzeitig mit diesem gebildet. Wahrscheinlich ist der größte Teil bereits der Verdrängung zum Opfer gefallen. Seine besonders leichte Verdrängbarkeit wurde von PALMER und BASTIN (43) nachgewiesen.

Die Frage nach der Altersstellung der Arsenide im Verhältnis zum Silber ist im Schrifttum umstritten. Während die amerikanischen Lagerstättenforscher in derartigen Strukturen das Silber als jüngeren Verdränger ansehen, hält ZÜCKERT (65) das Silber und evtl. auch Wismut für das ältere Mineral, das nachträglich umkrustet wurde. ZÜCKERTS Ansicht wurde von KEIL (25) und HOEHNE (23) übernommen, von den Amerikanern (z. B. LINDGREN (28, S. 603) und KIDD und HAYCOCK (26)) aber ausdrücklich abgelehnt.

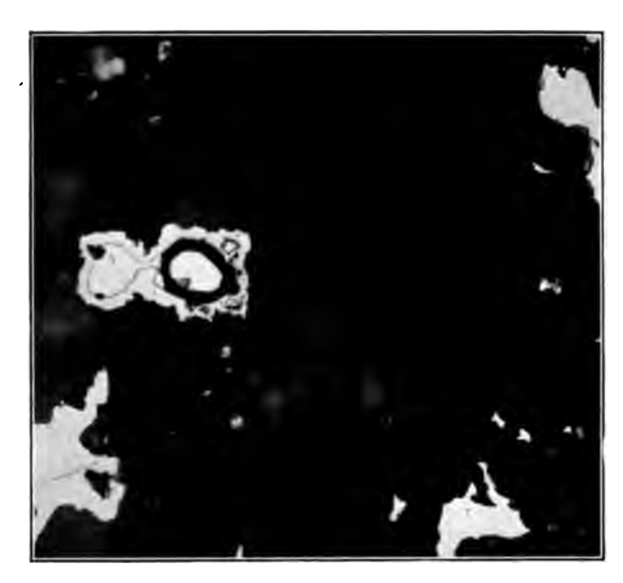
Wägt man auf Grund der Anschliffbilder von Kongsberg die beiden Ansichten gegeneinander ab, so spricht für die Annahme von älterem Silber zwar die makroskopische Beobachtung, daß wirrstrahlige, bis zu mehreren Zentimetern lange Silberstengelchen (siehe weiter unten Abschnitt I, 2) von etwa 1 mm Durchmesser oberflächlich teilweise mit Nickel-Kobaltarseniden überzogen sind. Mikroskopisch sieht man aber am Erzanschliff, daß der Chloanthit auch im Inneren der Stengelchen auftritt (siehe Fig. 19), also nicht nur umkrustet, sondern selbst vom Silber umhüllt wird. Gestützt wird die Annahme der Entstehung des Silbers nach den Nickel-Kobaltarseniden durch folgende Beobachtung. Innerhalb der Chloanthitränder finden sich nicht selten Reste von Mineralien, die ihrerseits zweifelsfrei von Silber verdrängt werden, wie z. B. Zinkblende (Fig. 4) oder das Mineral b (siehe weiter unten; Fig. 2). Wenn aber Silber und diese verdrängten Mineralien gleichzeitig umkrustet worden wären, so ist nicht einzusehen, warum die Grenze des umkrustenden Chloanthits so völlig ohne einen Absatz oder Knick über die gegenseitige Grenze der beiden älteren Mineralien hinweggeht, wie es in solchen Fällen durchweg zu erkennen ist. In den Chloanthiträndern treten überdies noch als Einschlüsse Körner des Minerals b auf, die dort durch Verdrängung von Rotnickelkies entstanden sind. Da Rotnickelkies und Chloanthit gleichaltrig sind, Mineral b aber älter als das Silber der Chloanthitkerne ist, so ist damit die Altersstellung des Silbers als jüngerer Verdränger bewiesen.

Die Menge der Chloanthitreste ist sehr verschieden. Auf jeder der drei Gruben, von denen die Hauptmenge der Erze vorlag, finden sich sowohl daran reiche wie arme Stufen; Teufenunterschiede sind ebenfalls nicht zu erkennen.

Als nächstes Mineral tritt in vereinzelten idiomorphen Kristallen Quarz auf. Fig. 3 zeigt äußerst anschaulich, daß Quarz nach Chloanthit gebildet wurde, denn das Quarzkorn in der Mitte der Figur umschließt eine Hälfte eines 8-förmigen Chloanthitgebildes, dessen gezackter

'and im Quarz völlig erhalten blieb. Der in den benachbarten at ragende Teil hat seine Zacken durch die lösende Wirkung ıgeren fluoridhaltigen magmatischen Wässer verloren.

nkblende findet man gelegentlich als Salband. Das Auftreten 'dränger innerhalb des Chloanthits, wobei es selbst wieder von verdrängt wird, gestattet die Festsetzung seiner Entstehung . zwischen diesen beiden Erzen (Fig. 4). Im eigentlichen Silber-ɀ ist Zinkblende, die teils in hellgelben, teils in dunkelbraunen len auftritt, nicht häufig.



Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Quarzkorn (dunkel grau, hohes Relief) ›ßt halb einen Chloanthitknollen, der mit Silber (weiß) gefüllt ist. Das warze Rändchen ist ein Hohlraum um das Silber[1]). — Vergr. 125 ×.

upferkies findet sich recht verbreitet, meist in Form von Ver-ıngsresten, gelegentlich in idiomorphen Kristallen eingelagert in .neral b (Fig. 6, 7). Von dem Mineral b kann Kupferkies kor- werden, meistens wird er nicht angegriffen.

einem Handstück aus den oberen Teufen der Grube Oldenborg sich etwas größere Partien von Kupferkies und Bleiglanz, die, ıloanthitreste gebildet, von Flußspat in einzelne Körnchen wurden (Fig. 5).

Eine Erklärungsmöglichkeit für diesen eigenartigen Hohlraum ist folgende. ›er hatte ursprünglich einen Saum von Silberglanz, der später von Kalk- fgelöst und ersetzt wurde. Dieser Kalkspat ist beim Schleifen fort- ›lt (?).

In den Stufen aus 6—700 m Teufe der Gruben Kongens und Gottes Hülfe trifft man häufig ein Erz, das mit keinem der im Schrifttum erwähnten Erze übereinstimmt. Es wird als Mineral b[1]) bezeichnet.

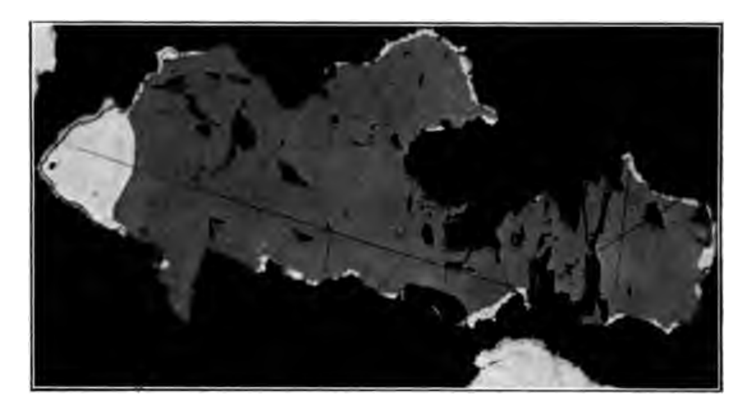


Fig. 4. Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Chloanthitkruste (weiß, Relief), deren Inneres von Zinkblende (mittelgrau) und Silber (weiß) verdrängt ist. — Vergr. 100 ×.



Fig. 5. Grube Haus Oldenborg. Gleichartig orientierte Bleiglanzkörner (hellgrau) durchzogen von Chloanthit (weiß, Relief) im Flußspat. Einzelne Silberkörner. — Vergr. 75 ×.

Es poliert sich sehr gut, ähnlich dem meist vergesellschafteten Kupferkies. Andeutungen von Spaltbarkeit fehlen. Lediglich in einem

[1]) Mineral a ist ein weiteres, von R. Stören analysiertes, unbekanntes Erz, das an anderer Stelle beschrieben wird. Es kam in den untersuchten Proben nicht vor.

Korn traten Risse auf, die einen Winkel von ungefähr 120° bilden. Es kann sich aber um zufällige Absonderungen handeln. Beim Herauspräparieren mit der Nadel ist es spröde. Die Polierhärte liegt um ein Geringes höher als beim Kupferkies, jedoch bei weitem nicht so hoch wie bei Magnetkies. Im Mineral b eingelagerte Kupferkieskörner erkennt man nicht an einer Grenzlinie, sondern am Farbunterschied. Nur bei sehr enger Irisblende und stärkster Vergrößerung sieht man ein Wandern der Lichtlinie in den Kupferkies.

Die Farbe und das Reflexionsvermögen sind ungefähr die von Magnetkies, nur mit einem Stich mehr ins Bräunliche und nicht ins Rötliche wie beim Magnetkies. Gegen Kupferkies ist es olivbräunlich,



Fig. 6. Grube Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Im Mineral b (mittelgrau) idiomorpher Kupferkies (etwas dunkler grau); Silber (weiß) im Inneren von Chloanthit (weiß, Relief). Der Kontrast Kupferkies-Mineral b ist durch ein besonders hartes Entwickeln und passendes Filter erreicht. Blaues Filter. — Vergr. 150 ×.

gegen Rotnickelkies etwas dunkler und ausgesprochener braun. Das Reflexionsvermögen nimmt in Öl nur sehr wenig ab. Gegen den jetzt grünlichen Kupferkies ist es ausgesprochen braun. Anisotropie war nicht zu beobachten, ebensowenig Reflexionspleochroismus. Innenreflexe fehlen.

Mit konz. Salpetersäure 5 Sek. geätzt, wird das Mineral nicht angegriffen. An der Luft widersteht es dem Anlaufen wesentlich länger als Kupferkies.

Das Mineral tritt immer nur als Verdränger auf, der selbst wieder verdrängt wird. Irgendwelche idiomorphen Kristalle fehlen vollständig. Als Verdränger findet man es gegenüber den primären Nickel-Kobaltarseniden und Kupferkies; selbst wird es verdrängt von Silber und gelegentlich Silberglanz.

Die Figuren 2, 6 und 7 zeigen charakteristische Formen des Minerals.

Vom Mineral b wurde ein Spektrogramm aufgenommen. Hierzu wurden unter dem Binokularmikroskop mit einer scharfen Nadel etwa 50 bis 100 der meist unter $^1/_{10}$ mm großen Körner isoliert. Eine restlose Trennung von Kupferkies, Silber und Chloanthit war allerdings nicht möglich, trotzdem größte Sorgfalt darauf gelegt wurde. Mit einigen Tropfen Königswasser angefeuchtet wurde in der üblichen Weise ein Bogenspektrum aufgenommen. Es ergab:

Fe	sehr stark
Ag	stark
Ni	schwach
Cu	schwach.

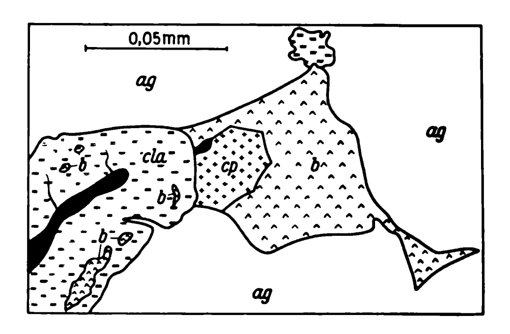


Fig. 7. Kongens - Grube, n. G. 636 m T. Chloanthit (*cla*) mit Kern von Mineral b (*b*), Kupferkies (*cp*), und Silber (*ag*). Gangart schwarz.

Ist Silber und Kupfer als Verunreinigung aufzufassen, so kämen von den bekannten Erzen Pentlandit und Bravoit in Betracht.

Gegen Bravoit spricht, daß Nickel nur in untergeordneter Menge gegenüber Eisen vorhanden ist, daß das Ätzverhalten anders ist und daß es als aszendentes Mineral gebildet wurde. Pentlandit stimmt zwar in wesentlichen Eigenschaften wie Ätzverhalten und Isotropie mit dem Mineral überein, unterscheidet sich aber in der Härte und Farbe von ihm. Pentlandit ist deutlich härter, hat höheres Reflexionsvermögen und hat nicht den bräunlichen Ton, der beim unmittelbaren Vergleich mit einem daneben montierten Pentlandit von Sudbury stark auffällt. Die Körner waren dabei zusammen ausgeblendet, so daß eine Täuschung durch das hohe Reflexionsvermögen von benachbartem Silber ausgeschaltet war.

Ist das Silber wesentlicher Bestandteil, so ist an einen isotropen Silberkies zu denken, sonst an ein pentlanditartiges Mineral. Es soll als Mineral b bezeichnet werden, bis weiteres Material eine Analyse und damit eine endgültige Bestimmung erlauben.

Für die erste Phase der Silberbildung ist die Ausscheidung von Flußspat als Gangart kennzeichnend. Quarz wird dabei stark kor-

rodiert, ebenso Zinkblende verdrängt. Die Menge des gebildeten Flußspates kann in den einzelnen Stufen sehr verschieden sein, ohne daß die sonstige Zusammensetzung des Erzes dadurch beeinflußt würde.

Ziemlich gleichzeitig mit der Entstehung des Flußspates wurden die Lösungen silberreich. Durch die Reduktionswirkung der Co-Ni-As-Mineralien wurde aus ihnen das Silber metallisch ausgefällt, eine Reaktion, die von den amerikanischen Lagerstättenforschern (z. B. Grout (16), Palmer (41, 42), Palmer und Bastin (43)) sowie in neuester Zeit von E. Jensen[1]) (24a) eingehend experimentell untersucht worden ist. Auch die anderen Mineralien, wie Kupferkies, Mineral b und Zinkblende wirkten ein, wenn auch entsprechend schwächer. Nach der von Palmer entwickelten Formel

$$2\ NiAs + 10\ Ag^{+} = 10\ Ag + 2\ Ni^{++} + 2\ As^{+++}$$

nimmt das gefällte Silber dreimal soviel Raum wie der gelöste Rotnickelkies ein. Da das die äußerste Kruste aufbauende Arsenid — der Chloanthit III — gegen Auflösung am widerstandsfähigsten ist, so scheidet sich das gediegene Silber zuerst innerhalb der Chloanthitkruste ab und nimmt dann noch das Doppelte an Raum außerhalb dieser ein. Bei genügend silberreichen Lösungen wird auch der Chloanthit teilweise oder ganz aufgelöst. Es hinterbleiben oft nur hauchdünne Säume oder vereinzelte Körnchen als Andeutung des Chloanthits.

Die Grenzen Flußspat-Silber sind meistens unregelmäßig verzahnt und deuten auf gleichzeitige Entstehung hin. Jedoch findet man auch Stellen, wo eindeutig Verdrängung von Silber durch Flußspat nachweisbar ist (Fig. 8).

Neben dem gediegenen Silber kommen nicht selten ganz geringe Mengen von Silberglanz vor. Meistens zeigt dieser Silberglanz — wenn auch durchweg in Berührung mit Kalkspat — starke Lösungsmerkmale, so daß man annehmen kann, daß ursprünglich noch größere Silberglanzmengen vorhanden waren, die später wieder gelöst worden sind.

Die Ursachen für derartige verstreute Silberglanzbildungen erkennt man aus einem Schliff der Grube Haus Oldenborg, wo sich im Kupferkies größere Silberglanzkörner finden, während er sonst fast völlig fehlt. Die Entstehung von Silberglanz durch Reaktion einer sauren flußsauren Silberlösung mit Sulfiden entspricht den von Ravicz (47) und Jensen (24a) experimentell untersuchten Verhältnissen, bei denen aus Silbersulfatlösungen durch Zersetzung von Bleiglanz, Zinkblende und Magnetkies usw. Silberglanz gefällt wurde. Für die Bildung von Silberglanz aus Kupferkies spricht auch, daß sich der Silber-

---

[1]) Die Abhandlung von E. Jensen über das Kongsberger Silber erschien während der Korr. der vorliegenden Untersuchung. so daß es nicht möglich ist, hier auf Einzelheiten daraus und insbesondere auf die aus den Experimenten gezogenen Schlußfolgerungen einzugehen.

glanz fast immer innerhalb von Chloanthitkrusten findet, wo sich auch der Kupferkies durch Verdrängung angesiedelt hatte, und nicht außerhalb dieser.

Ein neuer Abschnitt der Lösungszufuhr bringt Kalkspat und in geringerer Menge Silber. Der Kalkspat bildet gewöhnlich größere, einheitliche Kristallindividuen, die oft von Zwillingslamellen nach (01$\bar{1}$2) fein durchzogen sind. Bei nicht genau gekreuzten Polarisatoren ist diese Streifung im Erzmikroskop gut zu sehen.

Auf den oberen Teufen der Grube Haus Oldenborg erfolgte der Absatz einer letzten reinen Kalkspatgeneration als wenige Millimeter breiter Saum zwischen Salband und älterer Gangfüllung, die hier auch

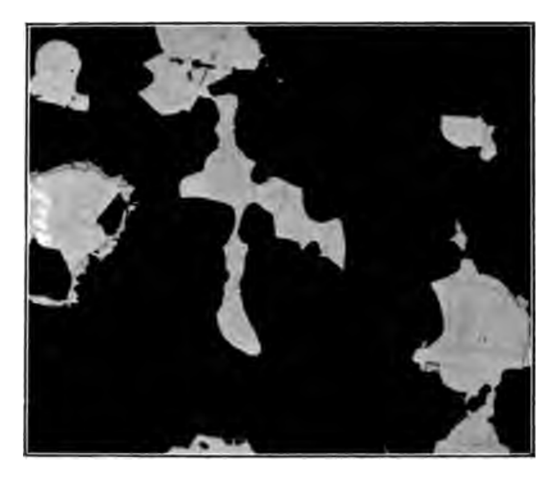


Fig. 8. Grube Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Silber (weiß), stellenweise noch mit Chloanthitkrusten (hellgrau, Relief) im Flußspat (dunkelgrau). Das Bild zeigt sehr deutlich die Verdrängung von Silber durch Flußspat. — Vergr. 75 ×.

aus Kalkspat besteht. Eine zeitliche Kluft zwischen den beiden Kalkspatgenerationen läßt sich mikroskopisch nicht nachweisen. Gelegentlich trifft man auch neben diesem Kalkspat wahrscheinlich ältere Partien mit ausgeprägter, z. T. stark verbogener Zwillingslamellierung.

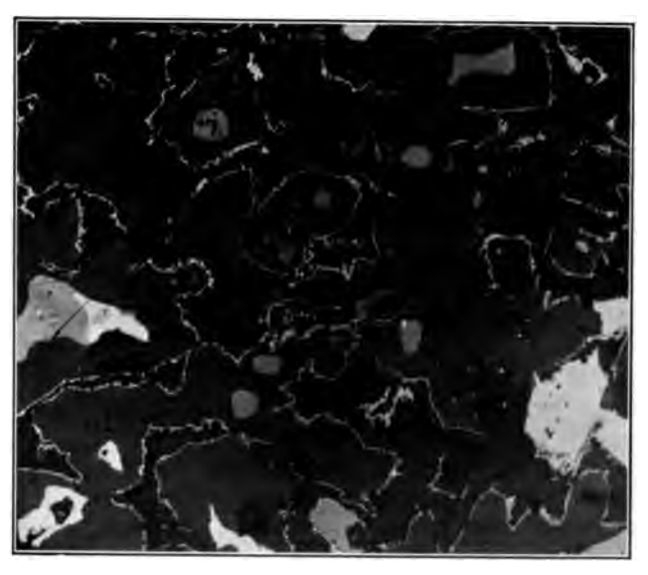
Das Silber der karbonatischen Lösungen kommt in kleinen Körnern und Flittern, auch wohl als Spaltfüllung im reinen Kalkspat zur Ausfällung.

Dieser Wechsel im Charakter der Lösungen gibt wieder Veranlassung zum Instabilwerden von Mineralien und damit zu Verdrängungserscheinungen. Zuerst wird Flußspat durch die kohlensauren Lösungen zum Teil korrodiert (Fig. 9). Die starke Wirkung wird erklärlich, wenn man beachtet, daß bei den hier in Frage kommenden Temperaturen schon das Wasser eine wirksame Säure ist, die Flußspat lösen muß, wenn sie erst an Fluoridionen verarmt ist.

Ebenso wie auf Flußspat wirken die karbonatischen Lösungen
Silberglanz ein, während Silber nicht angegriffen wird. Außer-
ntlich aufschlußreich ist in dieser Hinsicht eine Stufe der Grube
s Oldenborg (Fig. 10). Die Zwickel zwischen dem ursprünglich



). Kongens-Grube, n. G. 636 m T. Kalkspat (hellgrau) verdrängt Flußspat
elgrau). Besonders hart entwickelte Aufnahme, auf extrahartem Papier abgezogen. — Vergr. 75 ×.



10. Grube Haus Oldenborg. Silberglanz (grau) und Silber (weiß) umkrustet
Chloanthiträndchen (weiße Linien) und verdrängt von Kalkspat (dunkelgrau)
mit Zwickelfüllungen von Flußspat (schwarz). — Vergr. 75 ×.

in großer Menge vorhandenen Chloanthit wurden von Flußspat gefüllt, während im Inneren (wahrscheinlich über die Zwischenstufe von Kupferkies) sich Silberglanz bildete. Die darauf folgende Kalkspatperiode hat den Silberglanz zum größten Teil fortgelöst und die jetzt im Inneren der Chloanthitkrusten entstehenden Hohlräume ausgefüllt. Der Flußspat wurde in diesem Falle — wie man gelegentlich beobachten kann — nicht verdrängt, ja, er liegt manchmal in idiomorphen Kristallen im Kalkspat. Auch das gediegene Silber wurde nicht verdrängt. Diejenigen Silberkörner, die offenbare Lösungserscheinungen zeigen, dürften wohl erst nach der Korrosion aus Silberglanz reduziert worden sein.

Manchmal findet man Gangstücke, die im Gegensatz zu anderen Stufen vom gleichen Fundpunkt als Gangart nur Kalkspat neben wenigen korrodierten Quarzkörnern haben. Auch der Chloanthit fehlt fast völlig, während das Silber noch seine charakteristischen Formen zeigt. Es ist anzunehmen, daß ursprünglich vorhandener Chloanthit und Flußspat vollständig aufgelöst wurden, während die Gangspalte im letzten Teil der Erzbildungsperiode den kohlensäurereichen Lösungen besonders ausgesetzt war.

Auf Handstücken aus den oberen Teufen trifft man, den Kalkspat auf feinsten Spalten durchsetzend, blattförmiges Silber in geringer Menge an. Gelegentlich findet sich — worauf R. Stören in einer Privatmitteilung hinwies — auch jüngstes Silber, das die früher entstandenen Silberkörner zu einem einheitlichen Silberblech verkittet.

Auch für diese Lösungen muß man aszendenten Charakter annehmen, wenn auch die oft beobachteten Wiederauflösungen von Silberglanz es wahrscheinlich machen, daß man es mit aszendenter Umlagerung zu tun hat.

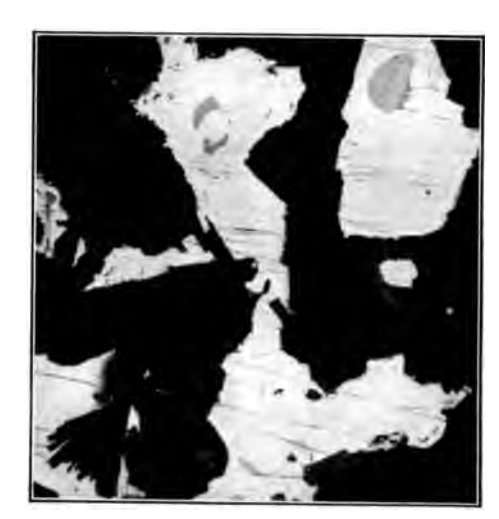
Von dem im vorstehenden gezeichneten allgemeinen Bild der Entstehung der Silbergänge durch Verdrängung älterer arsenidischer Erze treten durch örtliche Einwirkung von besonderen Lösungen und Gasen bedingte Abweichungen auf.

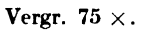
b) Quecksilber- und antimonhaltige Silbererze

Sehr verbreitet findet sich in den Kongsberger Erzen ein geringer Antimongehalt, ebenso wie ein Quecksilbergehalt, auf den in einem besonderen Abschnitt noch eingegangen wird. Vereinzelte Körner von Rotgültigerz sind die hauptsächlichen Träger des Antimons, das daneben als Mischkristall im gediegenen Silber enthalten ist.

Steigt der Antimongehalt höher an, wie z. B. beim Moossilber der Grube Gottes Hülfe, nördl. Gangzug, 690 m Teufe, wo A. Holter und R. Stören (22) 1,47 % Sb neben 5,59 % Hg finden, so treten verschiedene charakteristische Silberantimonmineralien auf, die eine gesonderte Behandlung dieser Erze rechtfertigen.

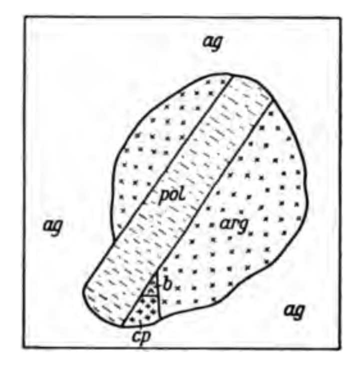
erwähnte Moossilber stellt ein äußerst dichtes Gewebe von
ngelchen mit Flußspat und Kalkspat dar. Das Salband wird
varzer, stellenweise hellgelber Zinkblende gebildet. Auch die
hasen der Mineralisation sind die üblichen mit Verdrängung
oanthit und Rotnickelkies durch Silber und Flußspat als
Bei dem untersuchten Material trat daraufhin einseitige
des Ganges ein, wobei neu zugeführtes Silber die älteren
:ner fast völlig einkittet. Kupferkies zieht sich in Streifen
zelnen Körnern hindurch. Die Altersstellung von diesem
ies ist nicht sicher, doch dürfte er auch hier älter als das Silber
neben findet man häufig Chlorittäfelchen in strahligen Gebilden.



. Grube Gottes Hülfe,
690 m T. Silber (weiß)
lberglanz (graue Tröpf-
bzw. Rändchen). Im
;lanz oben rechts ein
sitstäbchen (etwas heller
glatter). Reste von
thit (weiß, Relief) ver-
im Silber. Unten links
osette von Chlorit.

Vergr. 75 ×.

zunehmende Antimonreichtum der Lösungen läßt als ältestes
monhaltigen Mineralien Fahlerz entstehen, das in der Farbe
ntlichen Silbererzen außerordentlich ähnelt, doch durch größere
ıd Isotropie sicher von ihnen unterscheidbar ist. Meistens tritt
ɔinen Körnern oder Verdrängungsformen auf, die fast immer
ıung zum Kupferkies stehen. Mengenmäßig macht es vielleicht
:e der grauen Erze (d. h. der nichtmetallischen Silbermineralien)
ɔlegentlich findet man das Fahlerz in myrmekitischer Ver-
g mit Kupferkies, die aber unzweifelhaft als Verdrängung des
zu erkennen ist.
ht selten, wenn auch stets in winziger Menge, findet sich
t. Die Diagnose ergibt sich aus nachstehenden Eigenschaften.
Polierbarkeit als Silberglanz, die Härte dürfte entsprechend
ɔERHÖHN-RAMDOHR (50) höher als beim Silberglanz sein, da
ɔnachbarte Stückchen hindurchgehende Kratzer im Polybasit

feiner werden; dagegen zeigt das Wandern der Lichtlinie beim Heben des Mikroskoptubus, daß Polybasit sich stärker herauspoliert hat. Die Farbe ist sehr ähnlich der von Silberglanz, vielleicht um einen Stich heller. Reflexionsanisotropie und Anisotropie sind schwach, aber erkennbar bzw. deutlich erkennbar. Charakteristisch für den Polybasit sind neben den vereinzelten Innenreflexen und der Lichtätzung die Stäbchenformen der Querschnitte (Fig. 11, 12, 13). Die etwas schwächere Lichtätzung läßt den Polybasit nach kurzer Beleuchtung mit dem ungefilterten Bogenlicht gegenüber dem Silberglanz hervortreten. Allerdings wurde auch eine Polybasitleiste gefunden, die sich leichter als Silberglanz abrösten ließ.



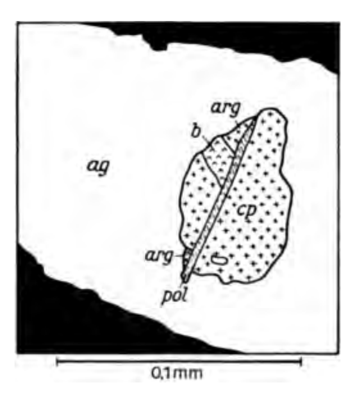


Fig. 12 und 13. Grube Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Stäbchen von Polybasit (*pol*) in Verdrängungsresten von Silberglanz (*arg*), Kupferkies (*cp*) und Mineral b (*b*), das Ganze umgeben von Silber (*ag*), Gangart (schwarz).

Eigenartig ist die Verwachsung des Polybasit mit anderen Erzen. Er tritt häufig als Achse eines mehr oder weniger rundlichen Verdrängungsrestes eines oder mehrerer Mineralien auf (siehe die oben genannten Bilder). Meist besteht der Verdrängungsrest aus Silberglanz, er kann aber auch Kupferkies mit dem Mineral b sein. Da die beiden letzteren, insbesondere das zuletzt genannte, immer älter als alles Silber ist, so muß es sich bei dem leistenförmigen Polybasit um idioblastisches Hineinwachsen in ein älteres Mineral handeln, wie es schon SCHNEIDERHÖHN-RAMDOHR (50) vermuten.

Über die Altersstellung des Polybasit kann man nur sagen, daß er wahrscheinlich bei der Zufuhr der Antimonlösungen, also in der ersten Hälfte der Bildungsperiode der Silber-Antimonerze entstanden ist.

Als Haupterz bei der Antimonzufuhr bildete sich Rotgültig. Wenn es sich im dichten Mooserz auch nur in geringen Mengen findet, so deuten doch die Reste auf ehemals weitere Verbreitung. Die

Diagnose ist auf Grund von Anisotropie und massenhaften, leuchtend roten Innenreflexen einfach. Der Paragenese entsprechend kann man am Strich feststellen, daß es Pyrargyrit ist.

Meistens findet sich, wie oben erwähnt, das Rotgültigerz im Silber in Verdrängungsresten; kleinste Körnchen von idiomorphem Erz trifft man jedoch auch im Kalkspat an.

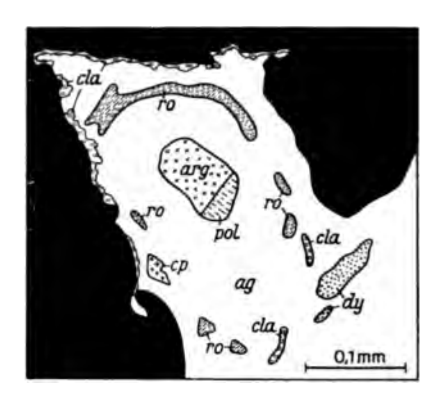


Fig. 14. Silber (*ag*), Silberglanz (*arg*), Pyrargyrit (*ro*), Polybasit (*pol*), Dyskrasit (*dy*), Chloanthit (*cla*), Kupferkies (*cp*). Durch Antimonaufnahme entstand im Silberglanz zuerst Polybasit und dann von außen her ein großes Korn von Pyrargyrit, dessen Umrisse noch erkennbar sind. Der Antimonentzug führte nachträglich zum Dyskrasit bzw. noch weiter zum Silber.

Nachdem durch Zufuhr von Antimon (und vielleicht auch Schwefel?) enthaltenden Lösungen in einem ersten Bildungsabschnitt Pyrargyrit, Polybasit (und Silberglanz?) entstanden waren, verarmen

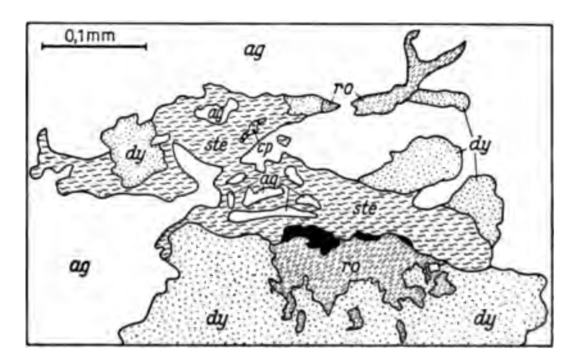


Fig. 15. Silber (*ag*), Pyrargyrit (*ro*), Stephanit (*ste*), Dyskrasit (*dy*), Kupferkies (*cp*). Rotgültigerz wird über Stephanit und Dyskrasit bis zum Silber abgebaut.

im weiteren Verlauf die Lösungen wieder an Antimon. Es wird Kalkspat ausgeschieden, die Lösungen sind also kohlensäurereich, während die Konzentration der Sb-Ionen soweit sinkt, daß die eben gebildeten Mineralien sich wieder zu zersetzen beginnen. Sehr schön wird dieses durch Fig. 14 und die zweite Phase besonders durch Fig. 15 erhellt. Im Mittelteil und oben in Fetzen der älteste Pyr-

argyrit, der großenteils schon in Stephanit und weiter in Dyskrasit umgewandelt ist.

Die kennzeichnenden Eigenschaften des Stephanites sind: Farbe wie Silberglanz; Reflexionsvermögen etwas höher, also heller; geringer Reflexionspleochroismus; beträchtliche Anisotropie. Innenreflexe fehlen vollständig; Lichtätzung wurde ebenfalls nicht beobachtet.

Die Form der Aggregate ist kennzeichnend für die Stellung von Stephanit als Übergangsglied beim Abbau von Pyrargyrit, also ganz unregelmäßige Formen als Verdränger, der selbst wieder durch Dyskrasit und schließlich gediegenes Silber verdrängt wird.

Dyskrasit ist in den Teilen des Moossilberganges, die der jüngsten, mit Kalkspat gefüllten Spaltöffnung benachbart liegen, nächst Silber das häufigste Erz. Bei einiger Gewöhnung an feinere Unterschiede in Farbe und Reflexionsvermögen ist der Dyskrasit unschwer im Silber zu erkennen; besonders gut, wenn der Schliff ein bis zwei Tage alt ist. Anisotropie und etwas größere Härte sind ferner Unterscheidungsmerkmale gegenüber dem Silber.

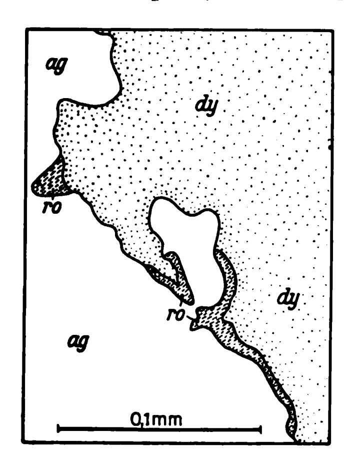


Fig. 16. Grube Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Silber (*ag*), Dyskrasit (*dy*), Pyrargyrit (*ro*). Rotgültigerz wird über Dyskrasit zum Silber abgebaut.

Der Dykrasit bildet durchweg regellose Massen, die durch die Veränderungserscheinungen verursacht sind. Fig. 16 zeigt ihn als Verdränger von Rotgültigerz. Die Dyskrasitaggregate selbst sind immer von Silbersäumen umgeben.

Der Vorgang der Umwandlung von Pyrargyrit über Stephanit, Dyskrasit in Silber ist aufzufassen als Gleichgewichtseinstellung zwischen Ag_3SbS_3 als Bodenkörper und verschieden konzentrierten Lösungen von Antimoniten bzw. Sulfantimoniten. Mit abnehmender Konzentration der Lösungen geht schließlich das Sb_2S_3 soweit in Lösung, daß nur mehr der Silber-Antimonmischkristall bzw. Silber hinterbleibt.

Die erzmikroskopische Untersuchung ergibt folgende Reaktionsschemen:

1. $5\,Ag_3SbS_3 \rightarrow 3\,Ag_5SbS_4 + Sb_2S_3$
   Pyrargyrit → Stephanit
2. $3\,Ag_5SbS_4 \rightarrow 3\,Ag_3Sb + 6\,Ag + 12\,S$
   Stephanit → Dyskrasit

Der Polybasit scheint sich beim Abbau nicht zu bilden, sondern bei der Aufnahme von Antimon aus der Lösung durch Silberglanz.

c) Chlorithaltige Silbererze

Nicht uninteressant ist das gelegentliche Auftreten von beträchtlichen Chloritmengen im gediegenen Silber. Besonders gut zeigt dieses eine Stufe der Grube Haus Oldenborg mit viel verdrängtem Silberglanz. Durch das Gangstück zieht sich ein Streifen hindurch, innerhalb dessen das Silber im Inneren der Chloanthitkrusten voll mit Chlorittäfelchen sitzt (Fig. 17). In der Gangart, also im Flußspat und Kalkspat fehlt der Chlorit. Vielleicht ist dieses so zustande gekommen, daß der verhältnismäßig früh gebildete Chlorit nur innerhalb der Chloanthitkrusten vor der Auflösung durch die fluoridhaltigen Lösungen bewahrt blieb und später der Verdrängung durch Silber widerstand.

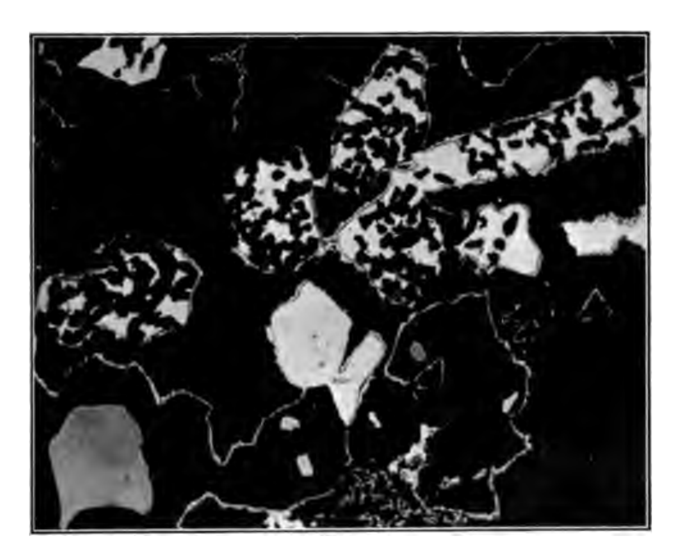


Fig. 17. Grube Haus Oldenborg. Chlorittäfelchen und Schüppchen (grau) im Silber (weiß), umgeben von Chloanthit (weiß, Relief). Links unten (hellgrau) Silberglanz. Gangart ist Kalkspat (dunkelgrau) und Flußspat (fast schwarz). — Vergr. 75 ×.

Der gleiche Anschliff zeigt ferner in dieser Art sonst nicht beobachtete sehr feinkörnige Verwachsungen von Chloanthit mit Silber, die sich gleich dem Chlorit durch den Schliff ziehen. Es dürfte sich um pseudoeutektische Verdrängungsstruktur handeln.

d) Graphithaltige Silbererze

Graphit, der unter der Bezeichnung Kohlenblende im Kongsberger Schrifttum bekannt ist, tritt in Form von Krusten in einigen Silbererzen auf. So findet man z. B. auf der Grube Haus Oldenborg Graphiträndchen um Silber. Sehr gut sind diese in Fig. 18 zu erkennen, wo als Kern einstiger Arsenide, von denen im mittleren und rechten Korn

noch Reste vorhanden sind, Silberglanz, Silberglanzreste im Si
und gediegenes Silber als Verdränger auftreten. Umkrustet wer
diese von schmalen Graphiträndchen, die durch die starke Anisotr
bei gekreuzten Polarisatoren sich sogleich zu erkennen geben.
Orientierung der einzelnen Stellen der Rändchen zeigt völlige Ungle
mäßigkeit; sie sind aufgebaut aus kleinen Teilblöcken mit unregelmä
strahliger Anordnung der Graphitblätter.

Derartige Graphiträndchen finden sich eigenartigerweise nur
ganz wenigen Stellen im Schliff und nicht etwa um alle ähnlich
stalteten Silberkörner herum. Der Graphit dürfte demnach für
Ausscheidung von Silber bzw. Silberglanz kaum eine Rolle ges
haben, wenn auch JENSEN (24a) seine silberfällende Wirkung nachw

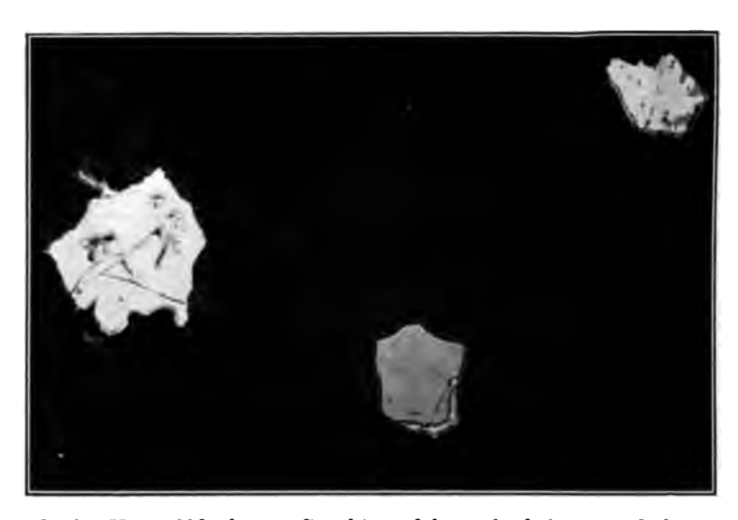


Fig. 18. Grube Haus Oldenborg. Graphiträndchen (dunkelgrau, radial angeord umgeben ehemalige Chloanthitkrusten (weiß, hohes Relief), die mit Silber (w und Silberglanz (hellgrau) gefüllt sind. — Vergr. 100 ×.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß man Graphit in ebe
Häutchen im sog. Kittsilber (siehe IV, 1) der Kongensgrube, 63
Teufe, mit Kalkspat als Gangart findet. Hier ist der Graphit ä
als die letzten Silberfüllungen, wie man an seiner Umhüllung du
das Silber erkennt.

Schließlich findet sich der Graphit nicht selten in staubarti
Überzügen gegen das Salband bei zu Platten zusammengewachse
Gangfüllungen mit Silber und Flußspat als vorwiegender Gang

Der Graphit muß sich ungefähr zu Beginn der karbonatisc
Lösungen gebildet haben, was ja auch vom chemischen Gesichtspu
aus einleuchtend ist.

Über dichte Massen von Graphit siehe V.

e) Der Anteil der einzelnen Mineralien an den Gangfüllungen

Durch Auszählen von jeweils 5000 Quadraten mit dem Okularnetzmikrometer wurde bei drei dafür geeigneten Schliffen der Volumengehalt der einzelnenen Mineralien in Prozent ermittelt.

Nr. 1 ist ein 7—8 mm mächtiger, an Chloanthit und Mineral b besonders reicher Gang.

Nr. 2 ist eine Ader mit Kalkspat als Gangart, in der Chloanthit bis auf geringe Reste verdrängt ist. Auf Kosten von Kupferkies hat sich Silberglanz gebildet.

Nr. 3 ist eine antimonhaltige Moossilbergangfüllung.

	Nr. 1 %	Nr. 2 %	Nr. 3 %
Gangart	47	58	68
Gediegen Silber	47,5	41,8	28
Chloanthit	3,7	0,01	0,6
Rotnickelkies	0,3	—	0,04
Kupferkies	0,1	Spur	0,7
Mineral b	1,2	Spur	—
Dyskrasit	—	—	0,8
Silberglanz	—	0,1	} 0,07
Pyrargyrit	—	—	} 0,07
Polybasit	—	—	} 0,07
Stephanit	—	—	} 0,07
Fahlerz	—	—	} 0,07
Kohlenstoff	0,1	—	nicht bestimmt

Diese Zahlen zeigen besonders deutlich, in wie geringer Menge diese As-, Sb- und S-haltigen Mineralien vorhanden sind.

2. Frei gebildete Erze (Gittersilber)

Als Gittersilber (R. Stören und A. Holter (22)) bezeichnet lagen von der Grube Gottes Hülfe, nördl. Gangzug, 690 m Teufe, verschiedene Handstücke vor, denen der Aufbau aus einem wirren Haufwerk von Ästchen mit feinen, spitz zulaufenden Zweigen oder gerundeten, knospenartigen Auswüchsen gemeinsam ist. Z. T. sind sie frei gebildet, z. T. in Kalkspat eingebettet.

Analytisch findet man darin neben einem ziemlich gleichmäßigen Quecksilbergehalt noch Ni, Co und As, die sich auch in einem teilweise vorhandenen grauschwarzen Überzug nachweisen lassen.

Da Überkrustung von gestreckten Silberkristallen durch Chloanthit für die Frage nach der Reihenfolge des Erzabsatzes von wesentlicher Bedeutung wären (siehe S. 72), so wurden Anschliffe senkrecht zur Achse der Silberstengelchen gemacht. In diesen erkennt man, daß im Inneren der Silberstengelchen sich Chloanthit in den charakteristi-

schen, spitzenartigen Formen als Verdrängungsrestchen vorfir
(Fig. 19). Man muß also annehmen, daß auch dieses stenge
Silber durch die Reduktionswirkung von irgendwelchen Arsenic



Fig. 19. Grube Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Einschlüsse von Chloanthit (
Relief) in Moossilberstengelchen. — Vergr. 40 ×.



Fig. 20. St. Andreasberg, Grube Roter Bär, Wilhelmsglücker Gang. Saff
stäbchen (hellgrau, hohes Relief) umgeben von Bleiglanz (etwas dunkler g
(Aus einer noch nicht veröffentlichten Untersuchung von H. Rose.) — Vergr. 5

darunter Chloanthit, ausgefällt wurde. Die gestreckten Formen würden also diesen angehört haben. Herr Prof. H. Rose machte den Verfasser freundlichst auf ähnlich stengeligen Safflorit aufmerksam (Fig. 20), der die ungewöhnliche Ausbildung erklären kann.

Bemerkenswert sind bei diesem Gittersilber gelegentlich auftretende, undeutlich fünfseitig begrenzte Stäbchen, bei denen die Seitenflächen parallel der Stäbchenachse eingedrückt erscheinen können, so daß sie den von van der Veen (61) beschriebenen Fünflingen nach {111} ähnlich sehen. Das fünfflächige Kopfstück war allerdings nie zu beobachten. Da derartige, regelmäßige Viellinge mit der Deutung des Silbers als Verdränger unverträglich gewesen wären, so wurden Schliffe senkrecht zur Achse mit Salpetersäure-Chromsäure geätzt. Die Schliffe (Fig. 21) zeigen, daß die Stengelchen aus größeren und kleineren Kristalliten ohne irgendwie erkennbare Gesetzmäßigkeit aufgebaut sind, daß also trotz der nicht selten fünfseitigen Begrenzung keine der beschriebenen Fünflinge nach {111} vorliegen.

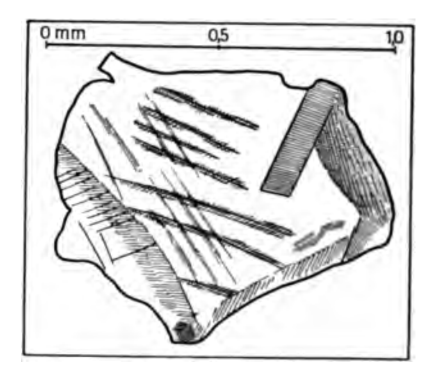


Fig. 21. Grube Gottes Hülfe, n. G. 690 m T. Querschnitt durch einen fünfseitigen Silberstengel. Geätzt mit HNO_3—CrO_3.

II. Silber und Silberglanz, die vorwiegend durch Verdrängung von Sulfiden entstanden sind

Dem durch Verdrängung arsenidischer Erze entstandenen Silber steht eine zweite Gruppe gegenüber, bei der die gleichen Lösungen im wesentlichen auf sulfidische Mineralien einwirkten. Die Reaktion kann bestanden haben in unmittelbarer Fällung durch Reduktion zu gediegenem Silber, oder in der Fällung als Silberglanz unmittelbar an der Stelle des in Lösung gehenden Sulfides oder schließlich in der Entstehung von Schwefelwasserstoff, der u. U. erst an einer anderen Stelle die Silberglanzbildung veranlaßte. Die entstandenen Silberglanzmassen wurden nachträglich in verschieden starkem Maße zu gediegenem Silber reduziert.

Kennzeichnend für diese Gruppe ist das Fehlen oder höchstens spurenweise Vorhandensein von Chloanthit, während sich von den Kiesen meistens größere Reste finden. Bei den die Silberfällung veranlassenden Sulfiden handelt es sich, entsprechend der Vogtschen Theorie (63), hauptsächlich um Fahlbandkiese oder um die Gänge 1. Generation nach Bugge, also um Magnetkies, Kupferkies, Pyrit und Zinkblende.

1. Ausfällung als gediegenes Silber

Unmittelbare Verdrängung von Fahlbandkiesen durch gediegenes Silber zeigte ein Gangstück der Kongensgrube aus 636 m Teufe, dessen Beschreibung auch durch die besondere Textur gerechtfertigt wird. Die Stufe enthält ein Zinkblendegängchen mit Salband aus Quarz und zertrümmerten Einsprenglingen aus Pyrit, Magnetkies, etwas Kupferkies und Bleiglanz. Die Zinkblende und die beiden ersten Erze, vielleicht auch der Kupferkies dürften der Fahlbandgeneration angehören. Die Zinkblende zeigt sehr schöne Entmischungen von Kupferkies, der in Täfelchen nach {111} eingelagert ist, damit auf höhere

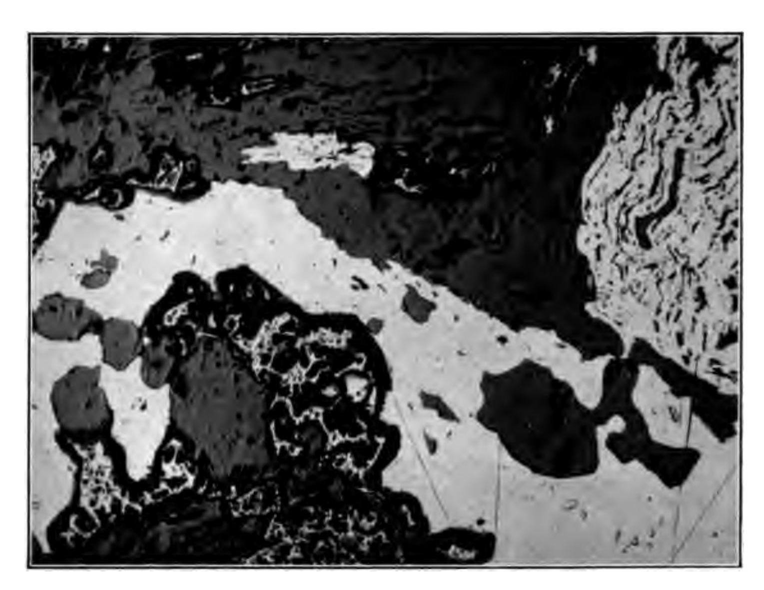


Fig. 22. Kongens-Grube, n. G. 690 m T. Silber (weiß) verdrängt fluidal aufgebaute Zinkblende (grau). Halblinks einige Pyritkörner (löcherig). Einige winzige isometrische Körner von Chloanthit (?) rechts unten im Silber. — Vergr. 100 ×.

Bildungstemperatur hindeutend. Bei den jüngeren Kongsberger Zinkblenden fehlen derartige Entmischungen.

Eine sehr ausgeprägte bänderige Textur fällt in der Zinkblende auf, die verursacht wird durch schnurförmig angeordnete Chloritnädelchen. Es dürfte sich um eine Art von Walztextur handeln (Fig. 22 und 23).

Verdrängt wird die Zinkblende parallel den Strömen von Bleiglanz, der wiederum vom jüngsten Silber verdrängt wird (Fig. 23). Auch Magnetkies und Pyrit zeigen mannigfache Erscheinungen der Korrosion durch die jungen, silberhaltigen Lösungen. Die Silberbildung erfolgte ohne Absatz von Gangart.

Das Silber hat den ungewöhnlich großen Quecksilbergehalt von 5,80 %. Ein Quecksilbergehalt beweist aber, wie später auseinandergesetzt wird, die Entstehung als primäres Silber, was man auch aus dem mikroskopischen Befund des Fehlens jeglicher Silberglanzspuren schließen muß.

2. Ausfällung als Silberglanz

Ein sekundär aus Silberglanz entstandenes gediegenes Silber ist das sog. Plattensilber von der Kongensgrube, nördl. Gangzug, 820 m Teufe. In dem stark schieferigen Nebengestein finden sich Schnüre

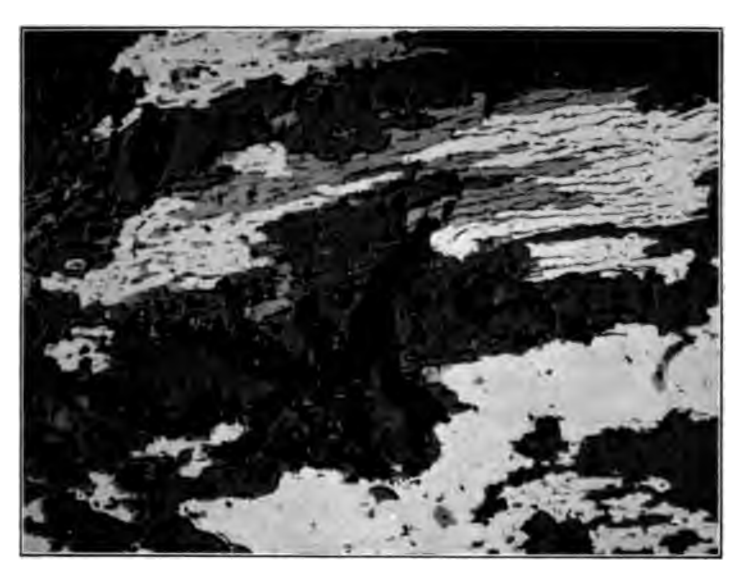


Fig. 23. Kongens-Grube, n. G. 690 m T. Silber (weiß) verdrängt Bleiglanz (mittelgrau) und Zinkblende (dunkelgrau). — Vergr. 100 ×.

von Kiesen, die den Flächen der Schieferung folgen, gelegentlich aussetzen, um dann wieder an Stärke zuzunehmen.

Den gleichen Klüften folgend trifft man einige Millimeter starke Silberäderchen. Die Gangart ist Kalkspat, der Reste von zerbrochenem Pyrit mit umschließt. Den Kalkspat durchsetzt Silber in feinen Plättchen von 3 bis 25 mm² Größe.

Im Silber findet sich sowohl in rundlichen Tröpfchen wie auch in unregelmäßigen Fetzen Silberglanz, der oft deutliche Korrosionsformen aufweist. Von Bedeutung ist die Beobachtung, daß der Pyrit im Silber ausgesprochene Verdrängungsformen zeigt und sich gelegentlich Silberglanz als Zwischenschicht zwischen Pyritrest und Silber findet. Feinste Silberglanzklümpchen von etwa 0,005 mm

Durchmesser finden sich ferner um Pyrit angehäuft, während sonst gleich große Körner von gediegenem Silber im Kalkspat verstreut sind.

Mengenmäßig beträgt der Silberglanz nur wenige Hundertstel des Erzes, jedoch muß man annehmen, daß ursprünglich der größte Teil des Silbers als Silberglanz entstanden und erst nachträglich reduziert worden ist. Bestätigt wird dies durch den geringen Quecksilbergehalt von nur 0,093 %.

Der Kalkspat als Gangart weist darauf hin, daß die Silberbildung sich in einer der letzten Phasen der primären Spaltenfüllung vollzog.

Neben der besprochenen Möglichkeit der unmittelbaren Ausfällung von Silberglanz durch das verdrängte Mineral kann sich Silberglanz durch das Zusammentreffen silberhaltiger Lösungen mit Schwefelwasserstoff bilden, der aus Sulfiden vorher freigemacht war und sich irgendwie angesammelt hatte. Beispiele hierfür bieten Spaltfüllungen wieder aus 636 m Teufe im nördlichen Gangzug der Kongensgrube.

In Trümern des Nebengesteins, das sehr wechselnd sein kann, aber meistens Einlagerungen von Kiesen der Fahlbandgeneration enthält, findet man Plättchen von 1—2 mm Mächtigkeit, die im Inneren aus Silberglanz in sehr einheitlichen Kristallaggregaten bestehen, während sich außen eine dünne Silberhaut gebildet hat. Ein ganz schmaler Saum von Kalkspat pflegt zwischen Erz und Nebengestein aufzutreten. Irgendwelche Reste zersetzter Mineralien fehlen völlig, auch ist die Gangfüllung so gleichmäßig, daß ihre Entstehung kaum anders als in der angedeuteten Weise zu denken ist.

Unter Bezeichnungen wie „lamellarer Silberglanz“ oder „resulfidiertes Silber“ lagen von verschiedenen Gruben und Teufen Erze von recht unterschiedlichem Aussehen zur Untersuchung vor, deren gleichartige Entstehung und Umbildung indessen eine zusammenfassende Behandlung ermöglicht. Im Gegensatz zu dem soeben besprochenen Silberglanz handelt es sich hier um derbe, meistens frei gebildete oder nur teilweise bzw. nachträglich in Gangart eingebettete Massen. Oft ist die ganze Oberfläche mit feinen Kristallflächen bedeckt, während aus anderen Stücken Büschel, Drähte usw. von gediegenem Silber hervorwachsen.

Die Mineralführung der Erze ist äußerst einfach. Silberglanz und Silber in wechselndem Verhältnis, etwas völlig zerfressener Kupferkies und als Seltenheit ein Körnchen Rotgültigerz, Silberkies oder Jalpait. Die gleichzeitig gebildete Gangart ist Kalkspat, selten trifft man älteren Quarz oder Flußspat.

Der Jalpait — $3\,Ag_2S \cdot Cu_2S$ — fand sich im Silberglanz der Kongensgrube und hatte folgende Eigenschaften: Wesentlich bessere Politur als Silberglanz; Schleifspaltbarkeit fehlt; Polierhärte wenig höher als die von Silberglanz. Dir Farbe ist grau, fast wie Silberglanz. Der Reflexionspleochroismus ist nicht sicher erkennbar, Anisotropie

mäßig, Farbwechsel gelblich-bläulich, Innenreflexe fehlen völlig. Besonders kennzeichnend ist die außerordentlich starke Lichtätzung, die trotz Anwendung von Wasserkammern im Strahlengang die photographische Aufnahme unmöglich macht. Die größeren Körner sind uneinheitlich aufgebaut, wenn auch nicht lamellar.

Fig. 24 zeigt, wie der Jalpait in Verwachsung mit Silberglanz und Kupferkies das letztere Mineral verdrängt.

In einem anderen Handstück von dem gleichen Abbau findet sich Silberkies in einigen kleinen Körnchen. Die Diagnose erfolgte auf Grund folgender Eigenschaften: Polierbarkeit ist besser, Polierhärte wenig größer als beim Silberglanz. Die Farbe ist braun, besonders auffällig in Öl, der Reflexionspleochroismus stark, zwischen dunkelbraun und hell lederbraun. Die Anisotropie ist stark. Es ist demnach

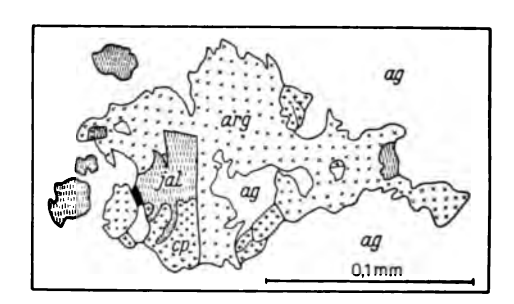


Fig. 24. Grube Gottes Hülfe, n. G. 636 m T. Jalpait (*jal*) bildet sich auf Kosten von Kupferkies (*cp*) im Silber (*ag*) und Silberglanz (*arg*).

der Silberkies II von Schneiderhöhn-Ramdohr, der, wie dort erwähnt wird, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit mit dem Sternbergit — etwa $AgFe_2S_3$ — gleichzusetzen ist. Ferner sind im gleichen Schliff noch Spuren der Silber-Antimonmineralien vorhanden.

Damit ist der Mineralbestand dieser Erze erschöpft. Kennzeichnend ist das Fehlen der Ni-Co-As-Mineralien sowie merklicher Mengen von Quecksilber und Antimon.

Die Entstehung des Erzes auf Kosten von Kupferkies und die nachträglich von außen nach innen fortschreitende Umwandlung in gediegenes Silber sieht man deutlich in Fig. 25. An einzelnen Stellen hat dabei die Reaktion der Silberlösungen mit dem Kupferkies unter Entzug von Eisenionen zum Jalpait, unter Entzug von Kupferionen zum Silberkies geführt. Wieweit bei der Silberglanzfällung noch zugeführte H_2S-haltige Lösungen eine Rolle spielen, läßt sich nicht entscheiden.

Während der nachfolgenden Reduktionsperiode kam es zur Entstehung der allgemein bekannten Kongsberger Silberdrähte, -zähne und -hörner, auf die im nächsten Abschnitt (II, 3) näher eingegangen wird.

Letzte Lösungsnachschübe förderten schließlich mit Kalkspat noch kleine Silberreste, etwas Kupferkies und Magnetkies, die in wohlgebildeten Kristallen sich auf dem Silber absetzten. Zugleich wurde das Silber oberflächlich stellenweise in Silberglanz verwandelt, bei stärkerer Einwirkung entstanden die kleinen Silbersulfidkristalle auf den derben Massen.

Die enantiotrope Umwandlung des Silberglanzes bei 179° in den rhombischen Akanthit erlaubt Aussagen über die Temperatur bei der Erzbildung zu machen. Im Schrifttum über Kongsberg wie auch in dieser Untersuchung wurde bisher die Bezeichnung Silberglanz schlecht-

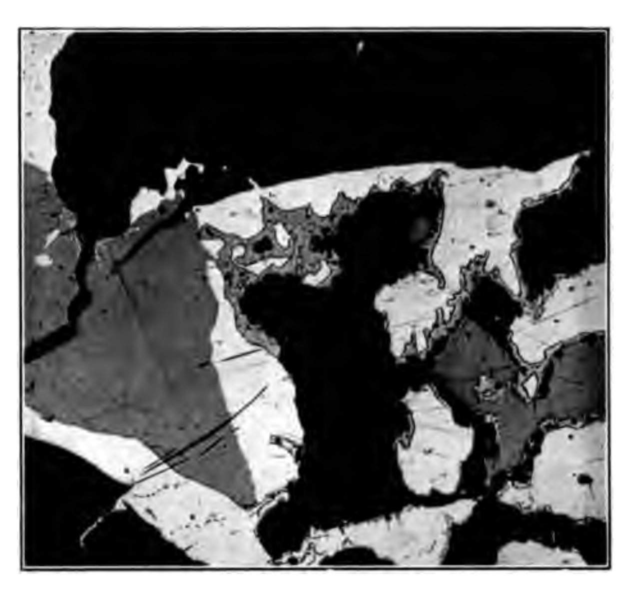


Fig. 25. Holtergrube. Kupferkies (grau, Relief), wird von Silberglanz (grau, glatt) verdrängt und nachträglich in Silber (weiß) umgewandelt. — Vergr. 40 ×.

weg im Sinne von Silbersulfid gebraucht, ohne Rücksicht darauf, ob es sich um die reguläre oder die rhombische Modifikation handelte.

Gut ausgebildete Kristalle von regulärem Silberglanz sind, wie Münster (34) erwähnt, nicht häufig. Rhombischer Akanthit ist überhaupt nur einmal erwähnt worden. Gute reguläre Kristalle lagen Verf. unter seinem Material nicht vor. Eine genauere Untersuchung der feinen Kristallite auf der Oberfläche der Silberglanzaggregate ließ erkennen, daß es sich um rhombische Symmetrie handelt. In den allermeisten Fällen erlaubten die gerundeten Kristallflächen überhaupt keine Deutung.

Unter dem Erzmikroskop zeigt der Silberglanz bei gekreuzten Polarisatoren deutliche Anisotropie, aber keinen irgendwie auffälligen

Lamellenbau. Erst bei nicht scharf gekreuzten Polarisatoren, Vorschalten eines komplementären Farbfilters und sehr sorgfältiger Beobachtung sieht man im allgemeinen einzelne anders orientierte Fetzen und Lamellen. Lediglich in einem Schliff eines wahrscheinlich früh gebildeten Silberglanzes mit Flußspat als Gangart fanden sich einzelne Stellen mit deutlichem Lamellenbau. Die eingelagerten Spindeln heben sich beim Drehen des Mikroskoptisches deutlich gegen die Grundmasse ab. Fig. 26 zeigt eine solche Stelle bei gekreuzten Polarisatoren.



Fig. 26. + Polarisatoren. Silber (weißgrau), Silberglanz (mittelgrau), Kupferkies (dunkler grau, Relief), weiße Körner im Silber bestehen aus Kalkspat. Die hellen Streifen sind alte Schleifkratzer. Links unten lamellarer Silberglanz. Sehr schwachen Farbkontrast zeigende senkrecht verlaufende Streifen im Silberglanz rechts oben. — Vergr. 40 ×.

Links unten der lamellare Silberglanz (SCHNEIDERHÖHN (51)), rechts oben die erwähnten, äußerst zarten Lamellen. Der lamellare Silberglanz links ist demnach über 179° gebildet und mimetisch zerfallen, während die Hauptmenge unterhalb dieser Temperatur als Akanthit entstand.

3. Aus Silberglanz entstandene Zähne und Drähte von gediegenem Silber

Die außerordentlich schönen Silberzähne und -drähte von Kongsberg sind in den meisten mineralogischen Sammlungen vertreten und allgemein bekannt. Eine nähere Beschreibung kann daher unterbleiben.

Ausführlich behandelt sind sie von I. H. L. VOGT (63), schöne Abbildungen finden sich unter anderem bei R. BRAUNS (4).

An dieser Stelle sollen nur wenige Beobachtungen über die Zahnbildung sowie neuere Anschauungen vom Entstehungsvorgang gegeben werden.

Bei dem zur Untersuchung zur Verfügung stehenden Material kann man zwei Typen von Silberzähnen unterscheiden (siehe auch R. STÖREN (52)).

1. Silberzähne, die aus Silberglanz hervorwachsen. Diese Zähne sind gedrungen, ziemlich massiv, die Oberfläche ist kanneliert, jedoch nicht aus einzelnen Drähtchen zusammengesetzt. Die Spitzen der Zähne sind gerundet. Der Anschliff zeigt, daß der Zahn auf der Oberfläche des Silberglanzes glatt aufsitzt. Im Silberglanz sind einzelne Strömungslinien durch feine Silbertröpfchen angedeutet. Diese Zähne sind sicher nur aus der Silberglanzgrundlage herausgewachsen.

2. Bizarre, zahnartige Gebilde, bei denen eine Unterlage aus derbem Silberglanz durchweg fehlt. Die Zähne sind aus einer Vielzahl von Drähtchen zusammengesetzt, die vorne zu einer Spitze zusammenlaufen, während andere feinste Drähte in jeder Höhe des Zahnes abzweigen. Der Fuß besteht aus schwammigem Silber, ist aber auch gelegentlich Pyrit oder Kupferkies. Bei einer Stufe wächst ein der artiges Gewirr feiner Drähtchen aus trübem, spätigem Kalkspat heraus.

Erzmikroskopisch wurde ein auf Pyrit aufgewachsenes Bündel von ungefähr 2 cm langen Silberzähnen untersucht. Im Schliff erkennt man, daß der Pyrit in eine Unzahl kleiner Bruchstücke mit ausgesprochenen Korrosionsformen zerlegt ist. Diese kleinen Körner werden durch Silber zusammengekittet, in dem vereinzelte Silberglanztröpfchen liegen. Der Pyrit hat also die Silberglanzfällung veranlaßt. Ob die so entstandene Silberglanzmenge zur Bildung der ganzen Zähne ausgereicht hat, ist jedoch fraglich. Möglicherweise sind die zuerst gebildeten Drähte durch elektrolytische Vorgänge weitergewachsen.

Die Gangart dieser Zähne pflegt Kalkspat zu sein, der in zwei Generationen auftreten kann. Der ältere Kalkspat ist dann trübe und grobspätig, während jüngere, klare Kristalle mit vorherrschenden flachen und steilen Rhomboedern auf dem Silber aufsitzen. Ferner findet man aufgewachsen Bleiglanz in Würfeln, 0,3 bis 0,1 mm große hexagonale Täfelchen von Magnetkies und gelegentlich kleinste Pyritkristalle. Die Bildungstemperatur dieser Mineralien dürfte unter 180° betragen haben. —

Die Entstehung von Silberzähnen aus Silberglanz beschreibt I. H. L. VOGT (63) ausführlich in einer älteren Arbeit.

In neuerer Zeit erschien eine größere Anzahl von Untersuchungen zu dieser Frage, die dadurch weitgehend geklärt wurde. Nur die wichtigsten dieser Arbeiten werden im folgenden erwähnt.

1906 veröffentlichten FRIEDRICH und LEROUX (15) die Beobachtung, daß beim (künstlichen) Silberglanz die Haarsilberbildung nur dann erfolgt, wenn der Glanz schon etwas gediegenes Silber enthält.

In einer Abhandlung über die haarförmigen Kristalle von Silber und Eisenvitriol gibt O. MÜGGE (31) die Temperatur der beginnenden Haarbildung zu etwa 180° an; oberhalb von 300° wird sie intensiv. Allerdings beobachteten COLLINS (14) und auch READWIN (48) das Wachstum von Silberdrähten schon bei gewöhnlicher Temperatur und längeren Zeiträumen, worauf MÜGGE hinweist. Besonders stellt MÜGGE fest, daß die Haarbildung unabhängig vom umgebenden Gas ist. Es handelt sich um Dissoziation von Silberglanz, die unter gewissen Bedingungen wieder in Sulfidierung übergehen kann. MÜGGE zeigt ferner durch Abschleifen des Kristalles, wodurch die Spuren des Silbers im Inneren des Glanzes sichtbar werden, daß das Silber von innen heraus geliefert wird.

Experimentelle Untersuchungen stellte A. BEUTELL (2) an Sulfiden, Seleniden und Telluriden des Silbers an, der in Bestätigung der Ergenisse von FRIEDRICH und LEROUX findet, daß bei den Versuchen zur Drahtbildung im abgeschlossenen, luftleeren Glasrohr bei höheren Temperaturen metallisches Silber in Berührung mit Silberglanz stehen muß. Er beobachtet das Hindurchwandern des Silber in Richtung des Temperaturgefälles durch den Silberglanz und das drahtförmige Herauswachsen an der kühlsten Stelle. Bei den Versuchen in Luft nimmt die Haarbildung zu, da durch die Oxydation des Schwefels die Entstehung von Silber auf Kosten des Silbersulfids begünstigt wird.

H. W. KOHLSCHÜTTER (27), der sich in einer Reihe von Untersuchungen mit der Frage befaßt, untersucht u. a. den Einfluß der durch die Temperatur bedingten Reduktionsgeschwindigkeit und findet, daß mit ihrem Ansteigen seitliche Anlagerungen an die Drähte immer mehr zunehmen und dadurch diese verbreitert werden.

Schließlich hat C. WAGNER (64) ebenfalls von der Seite der physikalischen Chemie her die Anlaufvorgänge von Silber mit Schwefel experimentell und theoretisch behandelt. Auf Grund seiner elektrolytischen Versuche kommt er zu dem Ergebnis, daß die Haarsilberbildung eine Umkehrung der von ihm erforschten Anlaufvorgänge ist. Das Silber wandert in Form von Ionen, die Wanderung ist mit Elektronenleitung verknüpft.

E. JENSEN (24a) betrachtet die Drahtbildung vom Standpunkt eines Reduktionsprozesses und untersucht als Reduktionsmittel Fe, Co, Sb und Hg. Besonders die Anwesenheit von Sb-Ionen begünstigt die Entstehung von Drahtsilber. Von Bedeutung sind seine Versuche, die die Möglichkeit des Drahtwachstums auf Kosten silberhaltiger Lösungen, also damit die Möglichkeit der Drahtbildung auf anderer Unterlage als Silberglanz, nachweisen.

Für die Entstehung des Kongsberger Silbers folgt jedoch aus den zuerst angeführten Untersuchungen, daß die Hornbildung auf dem Silberglanz an keine besonderen Oxydations- oder Reduktionsvorgänge gebunden zu sein braucht, sondern daß bei genügend kleinen Schwefelpartialdrucken eine Dissoziation des Silberglanzes erfolgt, wobei das freiwerdende Silber zu kühleren Stellen oder in Richtung eines elektrischen Stromes wandert und von innen her die Silberkeime aus dem Glanz herausschiebt. Diese Erscheinungen zeigen in ausgezeichneter Weise die massiven, rundlichen Silberzähne.

Erhöhte Temperatur und damit erhöhte Reduktionsgeschwindigkeit bringen die aus vielen Drähten zusammengesetzten, stark verbreiterten Zähne hervor. Da höhere Temperaturen, wie sie KOHLSCHÜTTER anwendet (400 bis 7—800°), durch geologische Gründe ausgeschlossen werden, so ist man berechtigt, diese verbreiterten Zähne bei vergrößerter Bildungsgeschwindigkeit entstanden anzunehmen. Man kann da z. B. an die Mitwirkung von Elektrolyse denken.

III. Gediegenes Silber, das durch die Reduktionswirkung des Nebengesteins entstanden ist

Die Annahme einer wesentlichen Mitwirkung des Nebengesteins bei der Reduktion der Silberlösungen scheint für papierdünnes Plattensilber von verschiedenen Fundpunkten berechtigt zu sein.

Das auf feinsten Klüften und Trümern im Nebengestein sitzende Silber besteht aus 0,2 bis 0,3 mm dicken, sehr gleichmäßigen Blättchen, die einen Durchmesser von 5 cm und mehr haben. Oberflächlich tragen sie einen Überzug von Kalkspat und Chlorit.

Das Silber enthält sehr vereinzelt kleine Chloanthitkörnchen, etwas Kupferkies und Silberglanz. Chloanthit und Kupferkies zeigen auch hier Verdrängungsformen. Die Größe der Silberblättchen und besonders ihre gleichmäßige Stärke und Ausbildung über die ganze große Blattfläche im Vergleich zu den sehr geringen Verdrängungsresten macht ihre Entstehung allein oder vorwiegend durch Verdrängung dieser Mineralien unwahrscheinlich.

Am naheliegendsten ist die Annahme der Bildung des Blattsilbers unter dem reduzierenden Einfluß der Ferroionen des Nebengesteins. Auf diese Möglichkeit der Silberfällung auf Kosten von Eisenoxydulsilikat weist z. B. J. H. L. VOGT (63) besonders hin. JENSEN (24a) verfolgt den Vorgang experimentell und stellt eine beträchtliche silberfällende Wirkung Fe^{++}-haltiger Silikate wie Biotit, Olivin, Bronzit fest.

IV. Gediegenes Silber, das durch Elektrolyse ausgeschieden ist

Als Kittsilber und Silberkristalle werden von R. STÖREN Stufen bezeichnet, bei denen klare, gut ausgebildete Quarzkristalle, weißer Kalkspat und violetter Flußspat von Silber gleichsam zusammen-

gekittet werden. Beim Vorhandensein von Hohlräumen im Gestein wachsen aus diesem Kittsilber Kristalle heraus, die teilweise schöne Würfel und einfache Kombinationen, teilweise schwer deutbare barocke Formen aufweisen. Nicht selten findet man gestreckte, schlangenartig ineinander gebogene Kristalle, die den Bildern bei BAUMHAUER (1) entsprechen.

Eine gemeinsame Eigenschaft dieser Kristalle ist die Ausbildung der Hauptmenge des gediegenen Silbers in sehr großen, ungestört gewachsenen Kristallindividuen, die beim Ätzen der Anschliffe sichtbar werden.

Ist ein Hohlraum in der meist früher gebildeten Gangart von Kittsilber ausgefüllt, so zeigen die randlichen Teile kleinere Kristallite, die zur Mitte hin von wenigen, sehr großen Kristallen abgelöst werden.

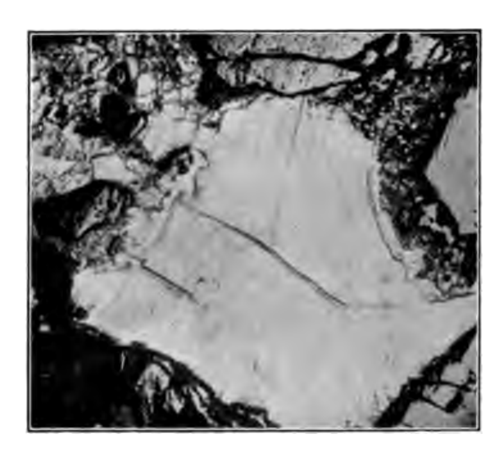


Fig. 27. Kongens-Grube, n. G. 636 m T. Geätzt mit HNO_3—CrO_3. Oben und rechts (weißgrau, hex. Umriß) Quarz, um den sich Silber feinkörnig ausgeschieden hat. In der Mitte großer, einheitlicher Silberkristall. — Vergr. 8 ×.

Die einzelnen untersuchten Stufen zeigen einige Unterschiede hinsichtlich der Mineralführung. So findet man z. B. gelegentlich kleine Mengen Kupferkies, der von Silber verdrängt wird. Selten tritt Silberglanz auf, der auf Kosten irgendwelcher Sulfide entstanden ist. Derartige Verdrängungserscheinungen waren jedoch immer nur in sehr untergeordneter Menge vorhanden. Das so entstandene Silber spielt lediglich die Rolle von Kristallisationskeimen oder besser gesagt von Kathoden, an denen die weitere Ausscheidung der großen Silberkristalle wahrscheinlich durch elektrische Ströme erfolgte. Fig. 27 zeigt einen geätzten Kittsilberkristall. Man erkennt die um den großen Kristall in der Mitte auftretenden feinen Schalen, die völlig den von CARPENTER und FISHER (13) bei Plattensilber von Kongsberg um Kalkspat gefundenen Streifungen entsprechen. Die Verf. halten diese schwer deutbare Struktur für ein Zeichen unregelmäßigen Wachstums, das bei niedriger Temperatur erfolgte. In diesem Zusammenhang weisen sie auf elektrolytische Bildungsmöglichkeiten hin.

Auf einen außergewöhnlich hohen Quecksilbergehalt und seinen Zusammenhang mit der Entstehung des Silbers wird weiter unten noch einzugehen sein.

Zum Schluß müssen an dieser Stelle noch sehr schön kristallisierte Silberplatten erwähnt werden, die bereits von VAN DER VEEN (61) und eingehend von R. STÖREN (56) beschrieben und abgebildet wurden.

V. Anhang. Graphit in derben Massen

Gröbere Massen von Kohlenstoff sind von Kongsberg seit langem bekannt und wurden als „Kohlenblende" oder „Anthrazit" (J. H. L. VOGT (63)) bezeichnet.

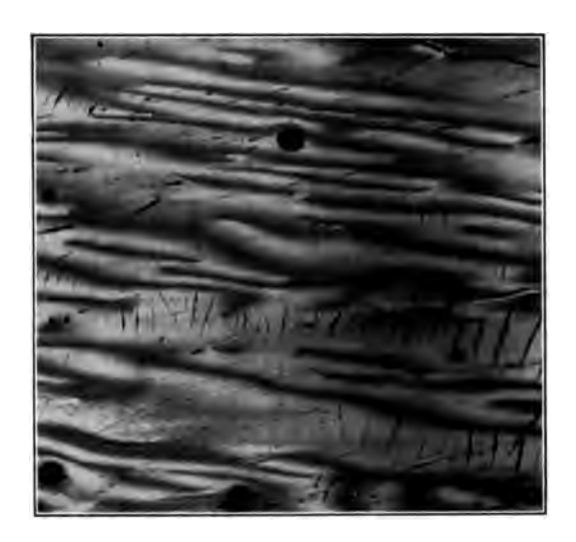


Fig. 28. Polarisiertes Licht. Holtergrube. Graphit (sog. Kohlenblende). Die schwarzen Kreise sind kugelförmige Hohlräume. — Vergr. 75 ×.

Unter dem Material des Verfassers befanden sich derartige Massen von der Grube Gottes Hülfe, Ostpartie 250 m Teufe und Holtergrube, 230 m Teufe, die auf frischen Absonderungsflächen glänzend schwarzen, auf anderen Flächen mattschwarzen, muscheligen Bruch zeigen. Der Strich ist rein schwarz.

Makroskopisch erkennt man eine Maserung und Flammung der Bruchflächen.

Unter dem Erzmikroskop sieht man im Anschliff, daß es sich um Graphit handelt. Reflexionspleochroismus und Anisotropie sind — wie für Graphit angegeben (RAMDOHR (44) — außerordentlich hoch. Fig. 28 zeigt einen solchen Anschliff.

Die hellen und dunklen Streifen des einheitlichen Materials entstehen durch verschiedene Orientierung der Graphitblättchen, deren

ordentlicher Strahl sehr stark reflektiert, während der außerordentliche dunkel erscheint. Die Orientierung von {0001} wechselt demnach von einem hellen zum dunklen Streifen um 90°, wie man beim Drehen des Präparates gut erkennt. Die Lage der Basis des Graphites, nach der er ausgezeichnet spaltet, ist im Bilde durch die Lage der Spaltrisse angedeutet, die beim Erreichen des dunklen Streifens, also beim Umbiegen von {0001} um 90° absetzen bzw. oft auch die Andeutung der Krümmung zeigen.

In Fig. 28 fallen verschiedene, kreisrunde dunkle Flecken auf. Es sind kugelförmige Hohlräume im Graphit, die teils leer, teils mit Kalkspat gefüllt sind. Sie stellen Abdrücke von Gasbläschen dar, die bei der Entstehung des Graphits eingeschlossen wurden.

Eine Analyse des Graphites veröffentlicht HELLAND (18). Er bestimmte 95,9 % C, 1,9 % H und 2,2 % O. Der nicht geringe H-Gehalt weist dabei auf die Entstehung aus Kohlenwasserstoffen hin, die unter Graphitbildung zerfallen sein dürften. Das entstandene Produkt entspricht also einem Retortengraphit, dem es auch im Anschliff (RAMDOHR (44)) sehr ähnlich sieht.

Die begleitenden Mineralien der besprochenen Stufen sind Zinkblende, Kalkspat, lettenartige, gebleichte Massen sowie als jüngste Bildung Axinit.

D. Chemische und spektrographische Untersuchungen der Erze

I. Die Quecksilberbestimmungen

1. Das Verfahren der Quecksilberbestimmung

Das Verfahren der Quecksilberbestimmung mußte derart gewählt werden, daß bei Einwagen von ungefähr $^1/_{10}$ g Quecksilbergehalte bis zu 0,001 % mit ausreichender Sicherheit bestimmt werden konnten, ohne jedoch zu zeitraubend zu sein. Besonders geeignet schienen dabei die Destillationsmethoden zu sein, die in verschiedenen Ausführungsformen, z. B. nach JANNASCH oder RASCHOU und GEILMANN (siehe H. und W. BILTZ (3)) zur Anwendung kommen können. Eingehende Versuche führten für den vorliegenden Zweck zu einigen Abänderungen an dem an zweiter Stelle genannten Verfahren.

Die Ausführung geschah wie folgt. Jenaer Glasrohre von 25 cm Länge und 4—6 mm Durchmesser wurden nach STOCK und LUX (58) sorgfältig mechanisch, mit Natriumbichromat-Schwefelsäure, Natronlauge und strömendem Wasserdampf gereinigt. Zum Gebrauch wurde ein Glasrohr etwa im ersten Drittel zu einer Kapillare von 1—2 mm Durchmesser ausgezogen, die längere Seite mit sehr sorgfältig getrocknetem Asbestpfropfen, kalz. Natriumkarbonat und Magnesit gefüllt, anschließend eine zweite Kapillare ausgezogen, hinter dieser das Silber eingebracht und abgeschmolzen. Jetzt wurde das Rohr von der Einschmelzstelle ausgehend sorgfältig erhitzt, das Silber zum Schmelzen

gebracht und blasenlos in das Glas eingeschmolzen. Ein Schmelzen des Silbers ist nötig, da sonst selbst bei stundenlangem, sorgfältigem und scharfem Erhitzen etwas Quecksilber vom Silber zurückgehalten wird. Das Quecksilber wurde nun aus der Kapillare, in der es sich angesammelt hatte, in das Magnesit-Soda-Rohr getrieben, und die Kapillare abgeschmolzen. Dann kam das Rohr in den bei BILTZ beschriebenen Ofen und wurde langsam erhitzt, während die Kapillare gekühlt wurde. Dabei sublimierte das Quecksilber in diese hinüber. Nach etwa 15 Minuten wurde der Magnesit mit dem Gebläse erhitzt, ebenso das Natriumkarbonat bis eben vor dem Schmelzen. Ohne daß das Sodarohr abkühlte, wurde die Kapillare abgeschmolzen. Durch Zentrifugieren mit einigen Tropfen Alkohol wurde der Quecksilbertropfen zum Zusammenlaufen gebracht und auf der Mikrowaage ausgewogen oder, falls er sehr klein war, mit dem geeichten Okularmikrometer unter dem Mikroskop bzw. einem Komparator ausgemessen und aus dem Durchmesser das Gewicht berechnet.

2. Die Ergebnisse der Quecksilberbestimmung

Tabelle 1 enthält die Ergebnisse der Quecksilberanalysen, die sich in drei großen Gruppen zusammenfassen lassen.

Die erste Gruppe umfaßt das als Verdränger von Ni-Co-Arseniden entstandene Silber (Abschnitt I der Gliederung) und das blattförmige Silber aus Spalten des Nebengesteins (III). Der Hg-Gehalt der Proben liegt mit nicht sehr großen Abweichungen bei $2^1/_2$ %. Die Proben stammen durchweg aus 6—700 m Teufe der Gruben Gottes Hülfe und Kongens. Eine Ausnahme machen die zur gleichen Gruppe gehörenden Stufen der Grube Haus Oldenborg aus rund 250 m Teufe, deren Hg-Gehalt sehr klein ist.

Eine zweite Gruppe enthält Silberglanz und das daraus entstandene Silber (II) mit weniger als 0,01 % Hg bei Silberglanz und selten mehr als 0,1 % beim daraus gebildeten Silber. Lediglich das Silber unter II. 1, Nr. 29, das zwar durch Verdrängung von Sulfiden, aber als gediegenes Silber entstanden ist, muß zur ersten Gruppe gestellt werden.

Die letzte Gruppe zeigt stark wechselnde, meistens sehr hohe Hg-Gehalte. Es ist das elektrolytisch gebildete Silber (IV).

Wichtige Hinweise für das Verständnis der oben genannten Ergebnisse liefert das Zweistoffsystem Ag-Hg, das von TAMMANN und STASSFURTH (59) und in jüngerer Zeit eingehend von MURPHY (35) und anderen (siehe z. B. bei HANSEN, Aufbau der Zweistofflegierungen, Berlin 1936) bearbeitet wurde. Es bilden sich bei niedrigen Temperaturen, wie sie hier allein in Betracht kommen, zwischen Ag und Hg Mischkristalle, die α-Phase, mit bis zu etwa 50 % Hg im Ag (HEIDE (17)). Erst bei höheren Hg-Gehalten ent-

stehen zwei Phasen, eine Verbindung mit etwa 28% Ag sowie Mischkristalle. Die beim Kongsberger Silber analytisch gefundenen Hg-Werte liegen also restlos im Gebiet der Mischkristallbildung.

Das völlige Fehlen irgendwelcher reiner Quecksilbermineralien auf der Lagerstätte legt den Schluß nahe, daß die p-t-Bedingungen für die Ausscheidung solcher ungeeignet waren, trotz der nicht unerheblichen Hg-Gehalte, die die erzbringenden Lösungen enthielten. Um das Quecksilber den Lösungen zu entziehen, mußten besondere Bedingungen vorliegen, die z. B. in der Amalgamierbarkeit des gediegenen Silbers gegeben waren.

Tabelle 1

Quecksilbergehalt Kongsberger Erze

Grube				Bezeichnung (R. STÖREN)	Hg-Gehalt %
I, 1. Gangförmiges ged. Silber als Verdränger von Ni-Co-Arseniden					
Kongens,	n. G.	636 m,	9	Zementsilber	2,35
„ ,	n. G.	636 m,	10	„	2,35
Gottes H.,	n. G.	690 m,	5	Brekziengangstück	2,20
„ „ ,	n. G.	690 m,	8	Zementsilber	2,19
„ „ ,	n. G.	690 m,	11	„	2,06
Oldenborg		230 m,	110	„	0,052
„		230 m,	150	„	0,001
I, 2. Frei gebildetes ged. Silber als Verdränger von Ni-Co-Arseniden					
Gottes H.,	n. G.	690 m,	1	Bruchstück, Gitterwerk	2,49
„ „ ,	n. G.	690 m,	2	„ „	2,73
„ „ ,	n. G.	690 m,	3	„ „	2,73
„ „ ,	n. G.	690 m,	4	„ „	2,42
„ „ ,	n. G.	690 m,	6	„ „	2,58
II, 1. Gediegenes Silber als Verdränger von Sulfiden					
Kongens,	n. G.	636 m,	29	Blattsilber mit Blende	5,80
II, 2. Silberglanz als Verdränger von Sulfiden (evtl. nachträglich zu Silber reduziert)					
Kongens,	n. G.	820 m,	19	Plattensilber mit Glanz	0,093
„ ,	n. G.	636 m,	26	Silberglanz mit Silber	0,105
„ ,	n. G.	636 m,	27	Silberglanz	< 0,0003
Gottes H.,	n. G.	690 m,	31	Derber Silberglanz bzw. Silberglanz in Zähnen	0,0007
„ „ ,	n. G.	690 m,	32	Derber Silberglanz bzw. Silberglanz in Zähnen	0,0093
„ „ ,	n. G.	690 m,	33	Derber Silberglanz bzw. Silberglanz in Zähnen	< 0,001
„ „ ,	n. G.	690 m,	34	Derber Silberglanz bzw. Silberglanz in Zähnen	0,0042
Holtergrube			64	Derber Silberglanz bzw. Silberglanz in Zähnen	0,0007

Grube		Bezeichnung (R. Störrn)	Hg-Gehalt %
II, 3. Aus Silberglanz entstandene Silberzähne			
Gottes H., Hauptgrube	13	Drahtsilber	0,024
„ „ , „	14	„	0,106
„ „ , „	16	„	< 0,001
Grube Samuel	15	„	0,79
Gottes H., Holtergrube	30	Silberglanz	0,0027
„ „ , „	30	Aus Silberglanz 30 entstandener Silberzahn	0,277
„ „ , n. G. 690 m,	7	Blattsilber (Trumsilber)	2,41
Kongens, n. G. 636 m,	17	Plattensilber	1,77
VI. Ged. Silber, durch Elektrolyse ausgeschieden			
Kongens, n. G. 636 m,	20	Kittsilber	2,85
„ , n. G. 636 m,	21	„ (mit Quarz!)	0,19
„ , n. G. 636 m,	22	„	8,76
„ , n. G. 636 m,	23	„ mit Kristallen	10,86
„ , n. G. 636 m,	24	Silberkristalle	4,17
„ , n. G. 636 m,	24	„	5,17—6,53
ohne Fundstelle, Br.	3	„	3,09
Gottes Hülfe, Ostpart.	101	Plattenkristall	0,0012

Zu dieser Frage liegen physikalisch-chemische Untersuchungen von Ogg (40) und Reinders (49) vor. Nernst (36) gab die theoretischen Grundlagen des Vorganges der Ausscheidung eines unedleren Metalles durch ein edleres aus der Lösung, wenn die beiden Metalle — wie im vorliegenden Falle — eine homogene, feste oder flüssige Lösung bilden.

Man ist also durchaus berechtigt, eine Amalgamierung von schon ausgeschiedenem Silber durch quecksilberhaltige Lösungen anzunehmen.

Allgemeine geochemische Gründe sowie Folgerungen aus den Quecksilberbestimmungen (siehe weiter unten) sprechen für die Annahme, daß sich die Quecksilberionen in einer späten Phase der edlen Lösungen angereichert hatten, wahrscheinlich zusammen mit dem Antimon.

Amalgamiert wurde nur gediegenes Silber, während der Silberglanz praktisch kein Quecksilber aufnahm. Das nach Abschluß der Einwirkung der quecksilberhaltigen Lösungen aus Silberglanz entstehende Silber muß daher quecksilberfrei sein oder enthält davon nur soviel, wie dem Partialdruck des Quecksilbers, der sich nachher auf den Hohlräumen im Gang einstellte, entspricht. Besonders schön erkennt man das aus der Analyse II, 3, Nr. 30, bei der ein Stück Silberglanz und der daraus hervorgewachsene Silberzahn analysiert sind. Das Horn enthält 100mal soviel Quecksilber wie das Muttermineral, muß das Quecksilber also nachträglich noch aufgenommen haben. Der primäre Charakter von Hg-haltigem Silber wird übrigens von Newhouse (37) an Hand des Quecksilbernachweises bei einer Reihe von Gediegen-Silber-Vorkommen besonders betont. Das Hg-freie gediegene

Silber ist dabei meistens auf Grund der Paragenese als sekundär zu erkennen.

Das Kittsilber und die Kristalle des Abschnittes IV zeigen ganz besondere Verhältnisse. Es wurde oben gezeigt, daß dieses Silber wahrscheinlich durch Elektrolyse entstanden ist. Die elektrolytische Metallabscheidung aus einer Lösung, die sowohl Silber- wie auch Quecksilberionen enthält, muß zur Entstehung von Amalgam führen, wie schon OGG (40) durch Messung der Zersetzungsspannung derartiger Lösungen gezeigt hat. Die mit der Zeit wechselnde Konzentration der Lösungen an Quecksilber macht den wechselnden Gehalt der zu verschiedenen Zeiten entstandenen Kristalle an Quecksilber verständlich. Das Kittsilber Nr. 21, das — neben sehr wenig Silberglanz — Quarz als Gangart führt und teilweise zusammen mit diesem, also in der ersten Phase der silberhaltigen Lösungen, ausgeschieden wurde, ist bezeichnenderweise nur sehr wenig quecksilberhaltig. Die quecksilberhaltigen Lösungen kamen demnach erst später.

Bei zwei Silberkristallen wurden verschiedene Schichten analysiert, die mit einer feinen Blattsäge abgesägt worden waren.

	Mittlerer Abstand von außen mm	Schichtdicke mm	Hg-Gehalt %
Kristall Nr. 24	0,5	1,0	**5,17 ± 0,04**
Kongens-Grube	1,5	0,7	**5,99 ± 0,02**
nördl. Gangzug	2,4	0,7	**6,53 ± 0,08**
636 m Teufe	4,2	Kern 2,8	**6,37 nur eine Bestimmung**
Kristall Nr. 23	0,3	0,7	**9,18 ± 0,04**
Kongens-Grube	1,6	1,4	**9,76 ± 0,02**
nördl. Gangzug	3,1	1,3	**9,65 ± 0,03**
636 m Teufe			

Bei beiden Kristallen nimmt der Hg-Gehalt von außen nach innen zu, um gegen den Kern dann wieder etwas zu sinken. Da sich die Diffusion und die Verdampfung des Quecksilbers seit der Zeit der Kristallbildung nicht abschätzen lassen, so wurden keine Folgerungen aus den Analysen gezogen.

Die tafelförmigen Silberkristalle, die ebenfalls im Abschnitt IV erwähnt sind, wurden von R. STÖREN auf Drusenräumen der Holtergrube gefunden, sie enthalten kein Quecksilber. Für sie ist wohl sehr späte Entstehung, womöglich sekundär aus aszendenten Lösungen, die kein primäres Silber mehr enthielten, anzunehmen.

II. Die spektralanalytischen Untersuchungen

1. Das Verfahren der Spektralanalyse

Von den verschiedenen, zur Untersuchung vorliegenden Silberproben wurden Spektralaufnahmen nach dem Kathodenglimmschichtverfahren von MANNKOPF und PETERS (29) durchgeführt.

Hierzu wurden jeweils 10 mg der mechanisch peinlichst gereinigten Silberstückchen in einer 3 mm tiefen Bohrung der reinen Spektralkohlen im Bogen bei 5—7 Amp. Stromstärke verdampft. Da es sich um die Erkennung verschieden leicht flüchtiger Substanzen handelt, so wurde immer 20 Sek. belichtet, die Platte um 1 mm verschoben und nach 5 Sek. wieder 20 Sek. belichtet usw. Dieses erwies sich als notwendig, um sowohl das Quecksilber, das in den ersten Sekunden schon restlos verdampft, als auch die Metalle der Eisengruppe, die erst in den späteren Belichtungen auftreten, zu erhalten.

Zur halbquantitativen Bestimmung wurden Mischungen hergestellt von Silber und den Zusatzmetallen in abgestuften Konzentrationen. Sowohl die Zusatzmetalle wie das Silber wurden in Form der feinst gepulverten Oxyde verwendet, um eine gute Durchmischung zu gewährleisten. Die Aufnahme der Testmischung geschah in der gleichen Weise wie bei den Silberproben. Durch visuellen Vergleich wurden dann die Gehalte der Beimengungen im Silber geschätzt.

2. Die Ergebnisse der Spektralanalysen

Die Tabelle 2 enthält die Zusammenstellung der Analysenergebnisse, die sich weitgehend mit den mikroskopischen Befunden decken.

Tabelle 2
Spektralanalysen der Silbererze

[1])	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10
Hg . . .	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Sb . . .	∞	∞	∞	1000	∞	∞	∞	∞	1000	∞
As . . .	100	100	1000	1000	1000	100	∞	1000	1000	1000
Ni . . .	100	0	100	1000	1000	1000	∞	10	1000	10
Co . . .	100	0	10	1000	1000	1000	∞	10	100	10
Cu . . .	0	10	0	10	0	0	0	0	100	0
Pb . . .	10	10	0	0	100	10	0	0	10	0
Zn . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe . . .	0	10	10	1000	1000	100	10	0	1000	10
Mn . . .	0	0	0	10	10	0	10	0	10	0
Bi . . .	10	10	10	0	10	10	0	10	0	0
Au . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Es bedeuten: $\infty = > 10^{-1}\%$, $1000 = 10^{-1}\%$, $100 = 10^{-2}\%$, $10 = 10^{-3}\%$, $0 < 10^{-3}\%$. Die Angaben beruhen auf Schätzungen.

[1]) Die Zahlen entsprechen den Fundortsangaben auf dem zweiten Blatt der Tabelle.

Fortsetzung von Tabelle 2

	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 13	Nr. 14	Nr. 15	Nr. 16	Nr. 17	Nr. 18	Nr. 19	Nr. 20
Hg . . .	∞	∞	100	0	100	∞	∞	∞	0	100
Sb . . .	1000	100	0	0	0	0	100	100	0	0
As . . .	10	0	100	0	0	0	100	100	0	0
Ni . . .	0	0	10	0	0	0	0	100	0	0
Co . . .	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
Cu . . .	10	0	100	100	0	0	10	10	10	10
Pb . . .	10	10	0	0	0	0	0	10	0	0
Zn . . .	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe . . .	∞	∞	0	0	10	10	0	100	100	0
Mn . . .	10	100	10	0	0	0	0	0	10	0
Bi . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	Nr. 20a	Nr. 21	Nr. 22	Nr. 23	Nr. 24	Nr. 25	Nr. 26	Nr. 27	Nr. 28
Hg . . .	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	100
Sb . . .	0	∞	1000		∞	∞	1000	∞	10
As . . .	0	1000	100	100	100	10	100	100	0
Ni . . .	0	10	0	0	10	10	0	0	0
Co . . .	0	10	0	0	10	0	0	0	0
Cu . . .	0	10	0	0	100	10	0	100	0
Pb . . .	0	100	0	10	10	0	10	0	0
Zn . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe . . .	10	1000	∞	∞	100	10	0	10	10
Mn . . .	0	0	100	100	0	0	0	10	0
Bi . . .	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au . . .	0	0	0	0	0	0	10	0	0

Nr.	Grube					Silberart
1	Kongens,	n. G.	636 m	T.	9	Gangförmiges gediegenes Silber, als Verdränger von Nickel-Kobaltarseniden entstanden (I, 1)
2	„ ,	n. G.	636 m	T.	10	
3	Gottes H.,	n. G.	690 m	T.	5	
4	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	8	
5	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	11	
6	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	1	Frei gebildetes gediegenes Silber, als Verdränger von Nickel-Kobaltarseniden entstanden (I. 2)
7	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	2	
8	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	3	
9	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	4	
10	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	6	
11	Kongens,	n. G.	636 m	T.	29	Ged. Silber als Verdränger von Sulfiden (II. 1)
12	„ ,	n. G.	820 m	T.	19	Silberglanz, als Verdränger von Sulfiden entstanden z. T. zu Silber reduziert (II, 2)
13	„ ,	n. G.	636 m	T.	26	
14	„ ,	n. G.	636 m	T.	27	
15	Gottes H.,	n. G.	690 m	T.	31	
16	„ „ ,	n. G.	690 m	T.	32	

Nr.	Grube			Silberart
17	Gottes H.,	Hauptgrube	13	Aus Silberglanz entstandene Silberzähne (II, 3). Silberglanz und daraus entstandener Silberzahn
18	„ „,	„	14	
19	„ „,	„	16	
20	„ „,	Holtergrube	30	
20a	„ „,	„	30	
21	„ „,	n. G. 690 m T.	7	Gediegenes Silber, vom Nebengestein reduziert (III)
22	Kongens,	n. G. 636 m T.	17	
23	„ ,	n. G. 636 m T.	20	Gediegenes Silber (z. T. in Kristallen), durch Elektrolyse entstanden (IV)
24	„ ,	n. G. 636 m T.	21	
25	„ ,	n. G. 636 m T.	22	
26	„ ,	n. G. 636 m T.	23	
27	„ ,	n. G. 636 m T.	24	
28	Gottes H.,	Ostpartie	101	plattenförmiger Kristall

Antimon und Arsen dürften als Mischkristall im Silber vorliegen, wenn sie nicht in besonderen, mikroskopisch nachweisbaren Mineralien vorhanden sind.

Einzelne Proben enthalten geringe Mengen Wismut, während Gold nur in einer Probe nachgewiesen wurde.

Eine spektralanalytische Untersuchung vom Kongsberger Silber liegt von W. und I. NODDAK (38) vor, die folgendes Ergebnis hatte (in % umgeschrieben):

Ag	> 0,1 %	Bi	0,020 %
Au	> 0,1 %	Mo	0,0005 %
Cu	> 0,1 %	W	0,00001—0,000001 %
Pb	0,005 %	Pd	0,001 %
As	0,001 %	Pt	0,004 %
Sb	0,009 %		

Nicht geprüft wurde auf Cd, Hg, Ge, Sn, Ru, Os, Rh, Ir, V.

Die sehr geringen As- und Sb-Mengen neben den hohen Bi- und Au-Gehalten in der Analyse von W. und I. NODDAK legen die Vermutung nahe, daß es sich um irgendwelche Anreicherungsprodukte, aber nicht um das gewöhnliche Kongsberger Silber gehandelt hat.

E. Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen am Kongsberger Silber

Die Ergebnisse der mikroskopischen und analytischen Untersuchungen lassen sich zum folgenden Bild vom Kongsberger Silber zusammenfassen.

Die ältesten Erzausscheidungen, die im Gefolge des Oslograbeneinbruches von Restlösungen zum Absatz gebracht werden, sind Nickel-Kobalt-Arsenide. Diese sind — wie die Kongsberger Erze überhaupt — sehr artenarm. Um einen Kern, der wahrscheinlich aus Speiskobalt-Chloanthit und Rotnickelkies bestand, schied sich als letzte Umkrustung zusammen mit Rotnickelkies die Komponente III

von Chloanthit ab. Ob diese Ni-Co-As-führenden Gangfüllungen den Gängen der 1. Generation angehören oder frühe Bildungen der Gänge der 2. Generation sind, müßte durch weitere Untersuchungen entschieden werden.

Gefolgt und verdrängt werden diese zuerst ausgeschiedenen arsenhaltigen Erze von Kupferkies und darauf von einem unbekannten Mineral. Ferner gehören Quarz und Zinkblende in diese Phase der Erzbildung.

Silberreiche Lösungen kommen nun auf den Gangspalten hoch und werden von den Arsenmineralien als gediegenes Silber ausgefällt, das sich meist innerhalb der Chloanthithüllen absetzt. Das unbekannte Mineral sowie der Kupferkies wirken gleichfalls fällend auf die Silberlösungen ein, wobei der Kupferkies oft zur Entstehung von Silberglanz Veranlassung gibt. Gleichzeitig oder wenig später dringen fluoridhaltige Lösungen hoch, die ihrerseits Quarz, Chloanthit und das gediegene Silber angreifen. Es bildet sich — oft violett gefärbter — Flußspat als Gangart.

Auf den Flußspat folgen kohlensaure Lösungen, die ebenfalls Silber führen. Die Silberbildung durch Verdrängung setzt sich fort, während von den karbonathaltigen Wässern der Flußspat seinerseits z. T. verdrängt wird. Stellenweise löst sich der Silberglanz auf und wird weitertransportiert.

In einem der letzten Abschnitte der kohlensauren Lösungen müssen diese antimon- und quecksilberhaltig gewesen sein. Quecksilber und Antimon, die beide Verbindungen bzw. homogene, feste Lösungen mit Silber bilden, werden von dem bereits gediegen ausgeschiedenen Silber aufgelöst bzw. es bilden sich einzelne Antimonmineralien, die mit dem Verschwinden des Antimongehaltes wieder abgebaut werden.

Gelegentlich trifft man in den gangförmigen Erzen Graphit, der sich aus Kohlenwasserstoffen gebildet hat. Manchmal ist Chlorit in den Erzen in beträchtlicher Menge eingelagert.

Neben diesem Verlauf der Silberausscheidung durch Verdrängung von Ni-Co-Mineralien trifft man das Silber auf Gängen und Trümern im Nebengestein gediegen oder als Silberglanz durch Verdrängung von Sulfidmineralien — Pyrit, Magnetkies, Kupferkies und Zinkblende — ausgefällt an. Der Silberglanz kann nachträglich völlig zu Silber reduziert sein.

Schließlich tritt derber Silberglanz auf, der beim Zusammentreffen von Silberlösungen mit schwefelwasserstoffhaltigen Wässern entstanden sein dürfte. Aus derartigem Silberglanz sind die bekannten Drähte und Zähne hervorgewachsen.

Der Silberglanz und alles sekundär aus diesem entstandene Silber sind quecksilberfrei oder arm, da Silberglanz aus quecksilberhaltigen Lösungen kein Quecksilber aufzunehmen vermag.

Für einzelne papierartige Silberblätter aus Trümern im Ne gestein wird Reduktion durch den Ferroionengehalt des Nebenges angenommen.

Die MÜNSTERsche Theorie der elektrolytischen Silberausschei dürfte zutreffen auf das sog. Kittsilber und die Silberkristalle, die l in sehr großen, einheitlichen Individuen auftreten und sich durch wechselnden, oft sehr hohen Quecksilbergehalt auszeichnen.

Kennzeichnend für die edlen Kongsberger Silberlösungen is starkes Bestreben, sei es metallisch, sei es als Sulfid ausgefällt zu wei

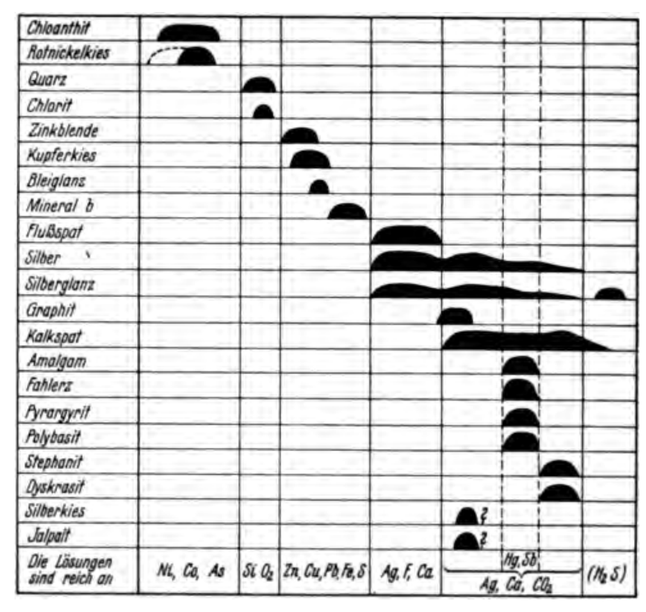


Fig. 29. Altersfolge der Erze.

So ist es verständlich, daß sämtliche möglichen Fällungsvorg gleichzeitig bei der Bildung der Lagerstätte mitgewirkt haben.

Die Bildungstemperatur der Kongsberger Gänge wird zuerst v über 200° gelegen haben, während sie in der letzten Phase 180° u schritt.

Fig. 29 bringt die Altersfolge der Erze.

F. Die Stellung Kongsbergs innerhalb der Silber-Kobalt-Nickel-Lagerstätten

Die Feststellung des wesentlichen Anteils, den Kobalt-N arsenide an der Fällung des primären Silbers aus den Lösungen h läßt die Einordnung Kongsbergs innerhalb der Silberlagerstätt

neuer Beleuchtung erscheinen und zeigt die Übergänge, die zwischen den Kobalt-Nickel-Silber-Lagerstätten und den edlen Kalkspatgängen (BEYSCHLAG-KRUSCH-VOGT) bzw. den Silberlagerstätten mit Zeolithen (LINDGREN) bestehen. Diese beiden Lagerstättentypen, die primäres gediegenes Silber führen, sind die Glieder einer Reihe (siehe auch bei VAN DER VEEN (62)), in der bei sehr ähnlichem Lösungscharakter auf der einen Seite der Kobalt-Nickelgehalt überwiegt, während auf der anderen Seite der Silberreichtum so groß werden kann, daß die Kobalt-Nickelarsenide zur Fällung des Silbers nicht mehr ausreichen und zum größten Teil dabei gelöst werden, eine fast reine Silberlagerstätte hinterlassend.

Betrachtet man die wichtigsten der erzmikroskopisch besser untersuchten Lagerstätten dieser Formation, so zeigen sie als erste Ausscheidung Nickel-Kobaltarsenide, besonders Rotnickelkies spielt eine wichtige Rolle, fast immer von Quarz, manchmal dazu von Karbonaten begleitet. Es folgen Zinkblende, Kupferkies, Bleiglanz in teils größeren, teils untergeordneten Mengen. Die eigentlichen Silberlösungen sind karbonatisch. Für Nieder-Ramstadt (45) und Cobalt (60) wird Silber vor die Sulfide gestellt. Wechselnde Antimongehalte gesellen sich zum Silber, Quecksilber kommt als Amalgam vor. Verschiedentlich tritt noch Graphit auf. Nach Abschluß der primären Silberzufuhr können die karbonatischen Lösungen Mineralumbildungen veranlassen.

Die Temperatur der Lagerstättenbildung wird mit 250° (Cobalt) bis 100—200° (Erzgebirge) angegeben.

Umstritten ist die Abstammung der Lösungen.

Bei fast allen näher untersuchten Lagerstätten lassen sich irgendwelche basischen Ganggesteine aufzeigen, die mit den silberführenden Spaltfüllungen in Zusammenhang gebracht werden können und gebracht wurden. Demzufolge faßt P. NIGGLI (39) die Nickel-Kobalt-Silber-Lagerstätten als Abkömmlinge gabbroider Magmen auf. Auf der anderen Seite steht die Ansicht deutscher Lagerstättenforscher (P. RAMDOHR (46)), die an die Herkunft aus einem granitähnlichen Magma denken.

Für Kongsberg liegen die Verhältnisse insofern recht einfach, als die Silbererzgänge die postdevonischen Kongsbergdiabase begleiten, also hier ein unmittelbarer Zusammenhang mit basischen Gesteinen besteht. Die Diabase ihrerseits werden als Restmagmen des Oslo-Massives und speziell des Drammens-Granites aufgefaßt (C. BUGGE (12)). Ob damit das Silber auch kurzerhand als Restdifferential eines Granites erklärt werden kann (die Entfernung Kongsberg-Drammens-Granit beträgt 17—35 km!), möchte Verfasser zweifelhaft erscheinen. Eher dürften die Diabase wie auch die Silberlösungen als basische Produkte einem tiefergelegenen Magma entstammen, das seinerseits auch den Drammens-Granit geliefert hat. Die gleiche Ansicht wird von den

meisten amerikanischen Lagerstättenforschern (siehe bei MOORE (30)) für Cobalt City vertreten.

Es ist dem Verf. eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. H. ROSE für Unterstützung und stete Anteilnahme an der vnrliegenden Untersuchung bestens zu danken. Ebenso sei Herrn Bergingenieur R. STÖREN, Kongsberg, für die Überlassung des Unrersuchungsmaterials sowie manchen wertvollen Hinweis, der Hamburger wissenschaftlichen Stiftung für Bereitstellung von Mitteln zum Besuch der Lagerstätte und der Deutschen Forschungsgemeinschaft ür Überlassung eines Spektrographen und Funkenerzeugers gedankt. Frl. GERTRUD MADELUNG verdankt Verf. die Herstellung der vielen Anschliffe.

G. Schriften

1. BAUMHAUER, H., Das Reich der Kristalle, 1889.
2. BEUTELL, A., Centralbl. f. Min. usw. 1919, 14.
3. BILTZ, H. und BILTZ, W., Ausführung quantitativer Analysen. Leipzig 1930.
4. BRAUNS, R., Das Mineralreich. Stuttgart 1912.
5. BUGGE, A., Norges geol. Unders., Nr. 130, 1928.
6. —, Norges geol. Unders., Nr. 133, 1930.
7. —, Norsk geol. Tidsskr. 12, 1931, 123.
8. —, Naturen 58, 1934, 193.
9. —, Norges geol. Unders., Nr. 146, 1936.
10. BUGGE, C., Norsk geol. Tidsskr. 4, 1917, 139.
11. —, Norges geol. Unders., Nr. 82, 1917.
12. —, Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 11, 1931, 33.
13. CARPENTER, H. C. H. und FISHER, M. S., Bull. Inst. Min. and Met. 330, 1, 1932; 335, 9, 1932.
14. COLLINS, H., Chem. News 1877, p. 154.
15. FRIEDRICH und LEROUX, Metallurg. Ztschr. 3, 361, 1906.
16. GROUT, F. T., Econ. Geol. 8, 1913, 407.
17. HEIDE, F., Naturw. 25, 1937, 651.
18. HELLAND, A., Geol. Gören, Förh. 2, 1875; zitiert nach (63).
19. HERMELIN, S. G., Reiseberetning av 1768 nach.
20. HOLTER, A., Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 11, 1931, 2.
21. —, Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 11, 1931, 93.
22. — und STÖREN, R., Über die Natur und das Vorkommen des gediegenen Silbers bei Kongsberg, Manuskript 1931.
23. HOEHNE, K., Chemie der Erde 10, 1936, 432.
24. JENSEN, E., Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 13, 1933.
24a. —, Norsk. geol. Tidsskr. 19, 1939, 1.
25. KEIL, K., Beiträge zur Kenntnis der Kobalt-Nickel-Wismut-Silber-Erzgänge, Dissertation Freiberg 1929.
26. KIDD, D. F. und HAYCOCK, M. H., Bull. Am. Geol. Soc. 46, 1935, 879.
27. KOHLSCHÜTTER, H. W., Ztschr. Elektrochem. 38, 1932, 345.
28. LINDGREN, W., Mineral Deposits, New York and London 1933.
29. MANNKOPF, R. und PETERS, CL., Ztschr. f. Phys. 70, 1931, 444.
30. MOORE, E. S., Econ. Geol. 29, 1934, 725.
31. MÜGGE, O., Gött. Nachr. Math. phys. Kl. 1913.
32. MÜNSTER, THS., Nyt Mag. f. Naturvidenskab. 27, 1883, 309.
33. MÜNSTER, CHR. A., Nyt Mag. f. Naturvidenskab., 1892.
34. —, Christian. Videnskabsselsk. Skrifter 1894, 38.
35. MURPHY, A. J., J. Inst. Met. 46, 1931, 507, 528.
36. NERNST, W., Ztschr. phys. Chem. 22, 1896, 539.
37. NEWHOUSE, W. H., Amer. Min. 18, 1933, 295.
38. NODDAK, W. und I., Ztschr. phys. Chem. A. 154, 1931, 207.

39. NIGGLI, P., Versuch einer natürlichen Klassifikation der im weiteren Sinne magmatischen Erzlagerstätten. Halle 1925.
40. OGG, Ztschr. phys. Chem. 27, 1898, 285.
41. PALMER, C., Econ. Geol. 9, 1914, 667.
42. —, Econ. Geol. 12, 1917, 207.
43. — und BASTIN, E. S., Econ. Geol. 8, 1913, 140.
44. RAMDOHR, P., Arch. f. Eisenhütt. 1, 1928, 669.
45. —, Notizbl. d. Vereins f. Erdkunde u. d. Hess. Geol. Landesanst., 5. Folge, 1923, 146.
46. —, Fortschr. d. Min. 22, 2, 1937, 162.
47. RAVICZ, L. G., Econ. Geol. 10, 1915, 369.
48. READWIN, T. A., Chem. News. 1877, p. 186.
49. REINDERS, W., Ztschr. phys. Chem. 54, 1906, 609.
50. SCHNEIDERHÖHN, H. RAMDOHR, P., Lehrbuch der Erzmikroskopie 2. Berlin 1931.
51. SCHNEIDERHÖHN, H., Amer. Min. 12, 1927, 210.
52. STÖREN, R., Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 11, 1931, 16.
53. —, Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 11, 1931, 95.
54. —, Gangproben mit Nebengestein, Manuskr. 1937.
55. —, Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 15, 1935, 333.
56. —, Tidsskr. f. Kjemi og Bergv. 15, 1935.
57. —, Die Silbermineralien des Kongsbergfeldes, Manuskript 1937.
58. STOCK, A. und LUX, Angew. Chem. 44, 1931, 200.
59. TAMMANN, G. und STASSFURTH, TH., Ztschr. anorg. Chem. 143, 1925, 357.
60. THOMSON, E., Econ. Geol. 25, 1930, 470, 627.
61. VAN DER VEEN, A. L. W. E., Ztschr. Krist. 52, 1931, 511.
62. VAN DER VEEN, R. W., Mineragraphy and Ore Deposition 1925, 92.
63. VOGT, J. H. L., Ztschr. prakt. Geol. 113, 1899, 177.
64. WAGNER, C., Ztschr. phys. Chem. B. 21, 1933, 25.
65. ZÜCKERT, R., Mitt. Abt. f. Gest. usw. Unters. Preuß. Geol. Landesanst., Heft 1, 1926, 69.

Zur Entstehungsgeschichte der Kieslagerstätte von Kupferberg in Oberfranken

Von R. IBACH

Mit 23 Textfiguren

Inhalt

I. Einleitung

Zur Bearbeitung stand die Kieslagerstätte von Kupferberg in Oberfranken, am Westrand der Münchberger Gneismasse. In paläozoischen Schiefern treten dort lagerartig kupferkiesführende Pyriterze auf, die von Kupferkiesgängen durchsetzt werden.

In neuerer Zeit haben sich H. BRAND und A. WURM (8, 48) mit der Deutung dieser Lagerstätte befaßt. Ihre Äußerungen stützen sich auf montangeologische und petrographische Untersuchungen. Eine erzmikroskopische Bearbeitung stand noch aus. Es wurde jetzt versucht, auf diesem Wege neue Gesichtspunkte zu schaffen.

Da nach Angabe früherer Bearbeiter die Erzzone aus dem paläozoischen Frankenwald in die Münchberger Gneismasse hinübersetzt, bestand die Hoffnung, mit diesen Untersuchungen nicht nur die Lagerstättenentstehung zu klären, sondern auch einen Beitrag zur Deutung der Münchberger Gneismasse zu liefern.

Die Grubengebäude sind heute nicht mehr zugänglich. Selbstgesammelte Haldenstücke vom Nachkriegsabbau der Mansfeld A. G. lieferten den Hauptteil der Anschliffe. Aus folgenden Sammlungen standen mir ferner Erz- und Gesteinsproben zur Verfügung:

Sammlung des Oberbergamtes in München.
Mineralogische Staatssammlung in München.
Naturaliensammlungen Bamberg und Bayreuth.
Sammlung der Mansfeld A. G. in Eisleben.

II. Geschichtliche Entwicklung des Kupferberger Grubenreviers

Das oberfränkische Kupferberg liegt im paläozoischen Frankenwald, in nächster Nähe seines Westrandes, ungefähr 8 km östlich von Kulmbach und 20 km nördlich von Bayreuth (Fig. 1).

Das Kupferkies- und Schwefelkiesvorkommen in den Schiefern machte den Ort schon im frühen Mittelalter bekannt. H. Brand, der sich auch mit der historischen Entwicklung dieses Bergbaues beschäftigt hat, berichtet, daß große Wasserschwierigkeiten von jeher nur einen Abbau auf einem schmalen Streifen und in einer durchschnittlichen Teufe von ca. 20—40 m erlaubt haben. In diesem Bereich baute man die sogenannten „edlen Gelberze“ ab, kupferkiesreiche Gänge, die hier von den Alten fast restlos hereingewonnen worden sind.

Da Sümpfungsversuche ergebnislos verliefen, mußte man sich später auf den Abbau der minderwertigeren kupferkieshaltigen Schwefelkiese beschränken. Anfang des 19. Jahrhunderts gewann man nur noch Pyrit zur Vitriolbereitung. 1892 versuchte man, durch den Vortrieb des „Alexanderstollens“ das „St. Veits-Tiefste“ zu entwässern, doch kam infolge fehlerhafter Vermessung der Stollen nicht tief genug ein. 1920 wurden planmäßige Erkundungsarbeiten unter Dipl.-Ing. H. Brand durchgeführt. Seine Arbeiten wurden von der Mansfeld A. G.verwertet und weitergeführt. Zu einem größeren Abbau kam es jedoch nicht.

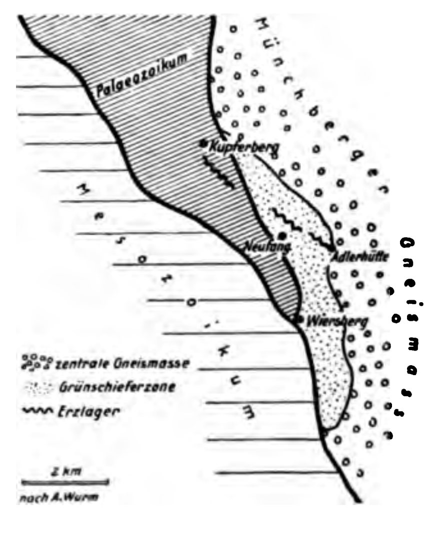


Fig. 1

Die wachsenden Schwierigkeiten in der Rohstoffversorgung, gerade von Kupfer, führten 1936 zu neuen Untersuchungen durch die Preußische geologische Landesanstalt. Man begann mit geophysikalischen Vermessungen, um zunächst einmal die genaue Verbreitung

und Größe des Erzkörpers festzustellen. Ob an eine Neueröffnung der Gruben gedacht werden kann, läßt sich aber zurzeit noch nicht ersehen.

III. Topographische und geologische Übersicht

1. Der Erzkörper. Das Kupferberger Kieslager liegt in einem schmalen paläozoischen Schieferstreifen, der im Norden mit dem Frankenwälder Paläozoikum in Verbindung steht und wenige Kilometer südlich von Kupferberg, bei Neufang und Wiersberg, zwischen der Gneismasse und dem Mesozoikum des Vorlandes auskeilt.

Das Kieslager wird als Teilstück eines mehr oder weniger zusammenhängenden Erzzuges angesehen, der innerhalb des Schieferstreifens bei Guttenberg nördlich Kupferberg beginnt, in SO-Richtung nach Kupferberg verläuft, etwas weiter südlich bei Neufang in die Randzone der Gneismasse übersetzt und in dieser über Adlerhütte bei Wiersberg bis in die Pingenfelder der alten „Himmelskroner Werke" bei Markt-Schorgast weiterziehen soll (8) (Fig. 1).

Vorliegende Untersuchungen erstrecken sich fürs erste nur auf das Kupferberger Revier. Eine genaue Bearbeitung der Neufanger und Wiersberger Erze ist aber zur Klärung der genetischen Verhältnisse des Erzzuges und nicht zuletzt auch der Gneismasse selber erforderlich und beabsichtigt.

Schon Herzog (28) und Gümbel (20) unterschieden ein konkordantes Pyritlager und mehr oder weniger diskordante Kupferkiesgänge. Die Untersuchungen von Brand und Wurm haben gezeigt, daß das Pyritlager keinen auf längere Erstreckung völlig zusammenhängenden Erzzug darstellt, sondern aus einzelnen, konkordant in den Schiefern liegenden Teilstücken besteht. Das Generalstreichen des schiefrigen Nebengesteins weicht von der Längserstreckung des gesamten Erzzuges ca. 10—20 Grad ab. Außer dem Hauptlager bestehen noch kleinere Nebenlager, wie die Pingenzüge auf dem Wurmberg und im Grubengebiet des sog. Kaiser-Heinrich-Ganges (im S von Kupferberg) beweisen. Auch nordöstlich über Kupferberg, am sog. hinteren Schieferberg, haben die Alten abgebaut (vgl. Brands geologische Karte (8). Die konkordanten Pyrit- und Kupferkieskörper werden an vielen Stellen konkordant und diskordant von Gängen aus Kupferkies, Quarz und Calcit durchsetzt. Abgesehen von Pyrit, Kupferkies, Zinkblende und den auf Lagerstätten von diesem Typus üblichen Oxydationserzen hat Brand noch in geringen Mengen Magnetkies, Bornit und Markasit beobachtet. Die neuen erzmikroskopischen Untersuchungen führten ferner noch zum Nachweis von Bleiglanz, Arsenkies, Speiskobalt, Fahlerz, Wismut, Magnetit, Bornit und Enargit (?). Markasit wurde nicht und Magnetkies nur in Spuren beobachtet. Die angeführte reichere Paragenese ist allein an die

gangförmigen Kupferkiese gebunden, während die Zusammensetzung der Lagererze überaus eintönig ist und nur aus Pyrit, Kupferkies, etwas Zinkblende und sehr wenig Bleiglanz und Magnetkies besteht.

Die Neufang-Wiersberger Erze bestehen vorwiegend aus Magnetkies und Magnetit, zum geringeren Teil aus Pyrit und Kupferkies. Leider fehlen zwischen Kupferberg und Neufang Abbauten, so daß ein Übergang vom Kupferberger zum Wiersberger Typ beim Eintritt in die Gneismassen-Randzone nicht beobachtet werden kann.

2. Das Nebengestein. Das Kupferberger Hauptlager soll nach Brand im großen und ganzen an ein und denselben Schieferhorizont gebunden sein. Als Liegendes wird ein kohliger Schiefer und als Hangendes ein phyllitischer Grauschiefer angegeben. Wurm (48) hält die Kupferberger Schieferserie für Mittelkambrium. Es sind meist bunte Tonschiefer, Quarzite und Phyllite. Intensive Zerrüttungen und Dislokationen haben nach Brand die Aufstellung einer genauen Altersfolge nicht zugelassen. Die Schiefer fallen nordöstlich ein und streichen nordwestlich.

Nordwest-Erstreckung besitzt auch ein ca. 2 km mächtiger Diabaszug, der den Kupferberger Schieferstreifen im Westen begleitet und ihn vom Mesozoikum des Vorlandes scheidet.

Sein zum Teil effusiver Charakter spricht für seine syngenetische Bildung, also für kambrisches Alter (nach Brand).

3. Tektonik im Kupferberger Revier.

Gneismassenüberschiebung: Die in sich schon stark gestörte Diabas-Schieferfolge wird im W und O durch tektonische Linien von den Nachbargebieten getrennt. Nordöstlich von Kupferberg wird die Serie, wie hier Brand gezeigt hat, von den Gneisen und Graniten der Münchberger Gneismasse auf flacher Schubbahn überfahren.

Fichtelgebirgs-Randspalte: Die Diabas- und Schieferserie überschiebt ihrerseits auf steiler Schubbahn das mesozoische Land im Westen. Diese tektonische Grenze, deren Überschiebungscharakter ebenfalls Brand erkannt hat, ist die bekannte „Fränkische Linie", ein Teilstück der Fichtelgebirgs-Randspalte. Die ursprüngliche Anlage dieser Störzone ist vermutlich schon paläozoisch. Ihre Ausgestaltung als steile Überschiebung ist nach Brand kimmerischen Alters. Der Verlauf der Störlinie zeigt sich schon morphologisch durch den Steilabsturz des Diabaszuges gegen das mesozoische Vorland. Durch die unmittelbare Nähe der Randspalte erklären sich auch die zahlreichen Verwerfungen und Blattverschiebungen innerhalb der Kupferberger Erz- und Schieferserie.

IV. Die Bildungsweise der Erze nach Ansicht früherer Bearbeiter

In der alten montangeologischen Literatur spielt die Frage nach der Bildungsweise der Lagerstätte eine untergeordnete Rolle. Auch

GÜMBEL gibt nur eine kurze Beschreibung des Vorkommens. (Ausführliche Literaturangaben in der Arbeit von BRAND.)

H. BRAND und nach ihm auch A. WURM (8, 48) haben sich dann sehr eingehend mit den genetischen Fragen befaßt. Beide unterscheiden zwei „Generationen" im Erzbestand. In der Abgrenzung dieser Generationen werden aber ganz verschiedene Ansichten geäußert.

Erste Generation nach BRAND: BRAND hält, soweit ich das seiner Darstellung entnehmen konnte, die konkordante, kupferkiesfreie Pyritkomponente für syngenetisch mit dem kambrischen Nebengestein. Er bringt die Herkunft der Erze mit den benachbarten kambrischen Diabasen in Verbindung und meint, die Erze seien während und im Anschluß an die submarinen Ergüsse aufgedrungen. Über den Vorgang äußert er sich: „Wahrscheinlich sind diese Erze ..... in aufgerissene Spalten gepreßt worden oder zusammen mit Sediment- und Tuffmaterial in schichtähnliche Decken ausgebreitet worden, über denen die Sedimentation ihren Fortgang nahm."

Nach BRAND spielt diese syngenetische Pyritgeneration nur eine untergeordnete Rolle und soll auf Kupferberg beschränkt sein. Die häufigeren Pyrit-Kupferkiesgemenge des Lagers hält BRAND aber insgesamt für epigenetisch (2. Generation).

WURMS erste Generation: WURM meint, daß auch in den Pyrit-Kupferkiesmischerzen der Pyrit zur ersten, und nur der Kupferkies zur zweiten Generation zu zählen sei, da „der Kupferkies den Eisenkies in der Regel umfaßt, also später zum Absatz kam als dieser". WURMS erste Generation enthält also das gesamte Pyritmaterial. Sie wird aber nicht für syngenetisch, sondern für postvaristisch-hydrothermal gehalten und vom Fichtelgebirgsgranit abgeleitet.

BRANDS zweite Generation: Sie enthält die Pyrit-Kupferkiesmischerze des Lagers und außerdem die eigentlichen Kupferkiesgänge, soll aplitisch bis hydrothermal sein und wird von den Graniten der Gneismasse abgeleitet, die BRAND nicht für ortsfremd hält.

WURMS zweite Generation: Sie enthält nur den Kupferkies der „Mischerze" des Lagers, ferner den Kupferkies der Gänge, aber keinen Pyrit. Sie wird für rein hydrothermal gehalten und soll wie die erste Generation vom Fichtelgebirgsgranit abstammen. WURM nimmt also im Gegensatz zu BRAND keinen größeren zeitlichen Zwischenraum zwischen einer ersten und einer zweiten Generation an.

BRAND und WURM glauben ferner, in einem stehengebliebenen bornithaltigen Kupferkiesgangstück deszendent-zementatives Erz erkannt zu haben.

Die Neufang-Wiersberger Erze stehen nach Ansicht beider Autoren mit den Kupferberger Vorkommen in direktem Zusammenhang. Ihre Erze sind nach beiden Autoren epigenetisch. BRAND stellt sie seiner

zweiten Kupferberger Generation gleich, nimmt aber hier magmatische Bildung an. WURM hält aber auch diese Erze für hydrothermal.

V. Erzmikroskopische Untersuchungen und ihre genetischen Folgerungen

Die alte, von HERZOG (28) und später von GÜMBEL (20) vorgenommene Scheidung in „Lager“ und „Gänge“ wird nicht bloß den geologischen Tatsachen gerecht, denn die Lagererze und die Gangerze unterscheiden sich auch in den mikroskopischen Strukturen und Texturen sowie in der Paragenese sehr weitgehend voneinander.

Es erschien zweckmäßig, die alte Zweiteilung auch der folgenden erzmikroskopischen Beschreibung zugrunde zu legen, zumal da es sich herausgestellt hat, daß die erwähnten Unterschiede durch eine völlig verschiedene Bildungsweise bedingt sind. Es sei kurz vorausgeschickt, daß sich in den Lagererzen, d. h. in den konkordanten Pyriterzen und Pyrit-Kupferkiesmischerzen, Relikte von Gelstrukturen fanden, die für eine syngenetisch-sedimentäre Bildung der an diesen Strukturen beteiligten Erze sprechen (vgl. RAMDOHRS Untersuchungen über die Erze von Rammelsberg und Meggen, 36).

Texturelle und paragenetische Beobachtungen machen, wie nachher gezeigt werden wird, diese Entstehungsweise auch für den gesamten Kupferkiesinhalt des Lagers möglich. Die kupferkiesreichen und offenbar ganz pyritfreien Gänge jedoch, die das Lager konkordant und diskordant durchsetzen, haben sich als hydrothermale Bildungen erwiesen.

1. Pyriterze und Kupferkies-Pyriterze des Lagers

Mineralbestand, Struktur und Textur der Lagererze. Der Mineralbestand der Lagererze ist überaus eintönig. Die wesentlichen Komponenten bleiben immer die gleichen: Pyrit, Kupferkies, Zinkblende, Quarz, Kalkspat, ferner schiefriges Nebengestein, das in der Hauptsache aus chloritischem Material und Titanitkörnchen besteht.

Unter den Erzen überwiegt Pyrit bei weitem. Von den Nebengemengteilen ist Magnetkies nicht allzu selten, tritt aber nur in höchstens 0,03 mm großen Ovoiden im Pyrit auf, spielt also mengenmäßig keine Rolle. Eine Seltenheit ist Bleiglanz, der in winzigen, höchstens 0,01 mm großen Teilchen mit Zinkblende und Kupferkies verwachsen vorkommt. Magnetitkriställchen von ähnlichen Dimensionen finden sich selten als kleine Oktaeder in quarzitischer Gangart.

Ein bezeichnendes Merkmal der Kupferberger Lagererze ist ihre Schichtigkeit, die durch einen Wechsel im Mengenverhältnis der Hauptkomponenten bedingt ist.

Schon die makroskopische Betrachtung an geschnittenen Erzproben läßt im wesentlichen vier verschiedene Erztypen im Lager unterscheiden:

Typ 1: Pyriterz.
Typ 2: Pyriterz mit wenig Kupferkies.
Typ 3: Kupferkies-Pyritmischerze, mit viel Kupferkies und Schiefergangart.
Typ 4: Kupferkies-Pyritmischerze, wie Typ 3, aber mit reichlichen Quarz- und Kalkspatschnüren.

Unter dem Mikroskop verwischt sich diese Einteilung nicht, sondern hebt sich nur noch schärfer heraus! Diese genannten Typen unterscheiden sich nämlich nicht allein durch den Wechsel im Komponentenverhältnis, sondern zeigen ihre eigenen strukturellen und texturellen Besonderheiten.

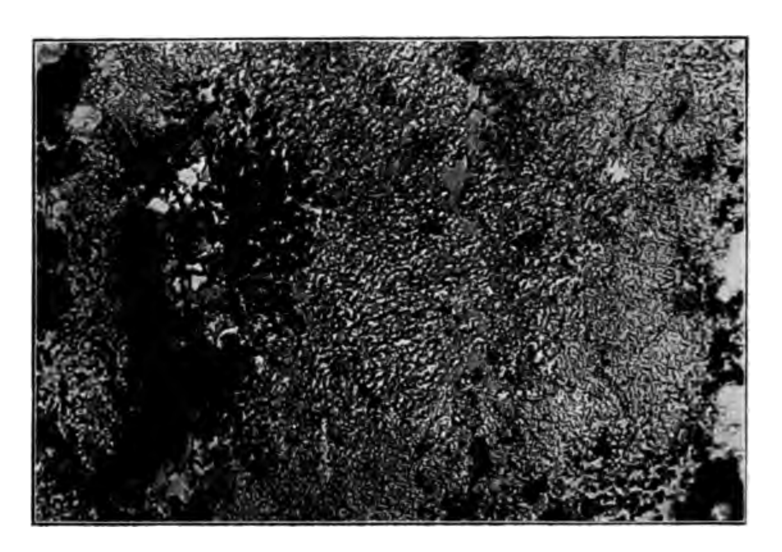


Fig. 2. 600 ×. Öl. Myrmekitartige Feinverwachsung von Pyrit (weiß), Kupferkies (grau) und Quarz (schwarz). Text S. 121 oben.

Vorausgreifend sei gesagt, daß wir es mit Erzen von verschieden starker Metamorphose zu tun haben, und daß im großen und ganzen der Grad der Metamorphose mit der Abnahme des Pyritbestandteiles zunimmt.

Typ 1. Es handelt sich um massige Pyritlagen, die oft schon bei näherer makroskopischer Betrachtung eine feine Bänderung aufweisen. Sie entsteht durch Wechsellagerung von dicken quarzgebundenen Pyritschichten mit dünnen Lagen, in denen Pyrit mit Zinkblende, Quarz, wenig Kupferkies, Kalkspat, und ganz wenig Bleiglanz vergesellschaftet ist. Das Erz ist tektonisch kaum beansprucht. Kataklase der Pyrite fehlt. Auch die Bänderung ist sicher nicht tektonischer Natur, denn irgendeine Regelung der Einzelkristalle in Rich-

tung der Bänderung ist nicht festzustellen. Man beobachtet vielmehr meist ungerichtete, myrmekitartige Verwachsungen aus Pyrit, Zinkblende, Quarz und wenig Kupferkies, Bleiglanz und Kalkspat (Fig, 2). Es kommen auch feinfiedrige, dendritenartige Verwachsungen der gleichen Zusammensetzung vor (Fig. 3). Die Richtung ihrer Längserstreckung wechselt. Beim Übergang in die pyritreichen Schichten treten dann auch die typischen runden Gelpyrite auf, wie sie als Hinweis für syngenetisch-sedimentäre Bildung besonders vom Rammelsberg und von Meggen bekanntgeworden sind (36).

Auf Grund der genannten Beobachtungen ist anzunehmen, daß auch die beobachtete Bänderung nicht tektonischer, sondern syngenetischer Natur ist und durch sedimentäre Wechsellagerung der verschiedenen Sulfide hervorgerufen wurde.

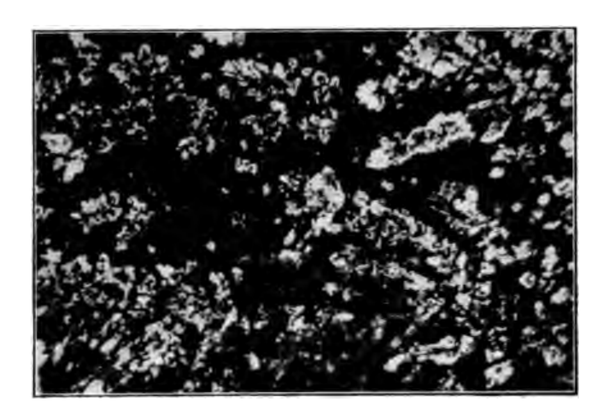


Fig. 3. 200 ×. Öl. Dendritenartige Bildungen aus Pyrit mit etwas Kupferkies und sehr wenig Bleiglanz in Quarz und Zinkblende. Text S. 121 oben.

Die Gelpyrite sind schalenblendenartige Gebilde, die aus Pyrit, Zinkblende, Quarz und wenig Kupferkies bestehen. Die Schalen stoßen aber nicht mit glatten Grenzflächen aneinander, sondern sind wieder feinfiedrig miteinander verwachsen (Fig. 4, 5 und 6). Häufig sind konzentrische Risse, die wieder mit Kupferkies, Zinkblende und Quarz ausgefüllt sind. Die rundlichen und buchtigen Begrenzungen der Risse zeigen, daß hier schon diagenetische Prozesse wirksam waren, die zu Umsetzungen zwischen den Korngrenzen der einzelnen Mineralien führten, wobei Pyrit verdrängt wurde.

Schouten (39) hat in einer Arbeit, die mir erst nach Abschluß meiner Untersuchungen zu Gesicht kam, gezeigt, daß Verdrängungsprozesse bei der Bildung von solchen komplexen Gelpyriten in weit stärkerem Maße wirksam waren, als frühere Beobachter und auch ich selber angenommen hatten. Schoutens Feststellung spricht aber

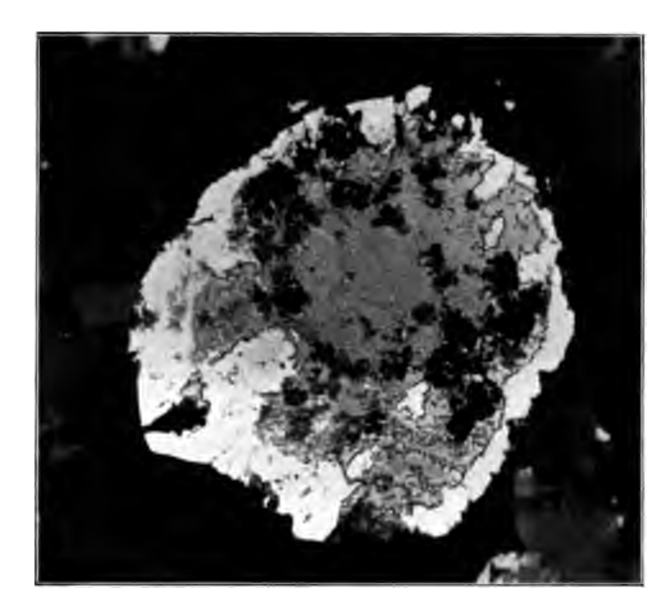


Fig. 4. 1200 ×. Öl. Gelpyrit. Weiß: Pyrit, hellgrau: Kupferkies, dunkelgrau Zinkblende, schwarz: Quarz. Text S. 121 unten.

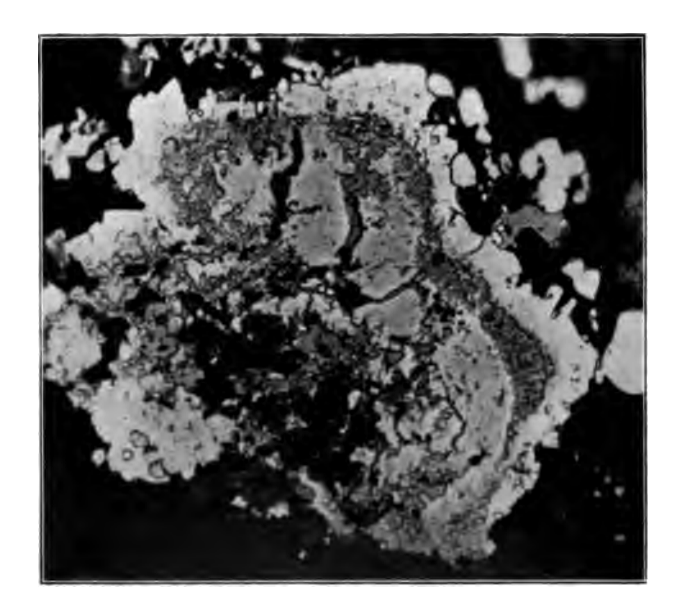


Fig. 5. 1200 ×. Öl. Gelpyrit. Weiß: Pyrit, grau: Kupferkies, schwarzgrau: Zinkblende, schwarz: Quarz. Text S. 121 unten,

deswegen noch keineswegs gegen sedimentäre Syngenese, wie weiter unten ausführlicher besprochen werden soll.

Die Größe der Gelpyrite wechselt sehr stark. Die kleinsten Formen sind winzige, mit Quarz und Zinkblende gefüllte Pyritkügelchen,

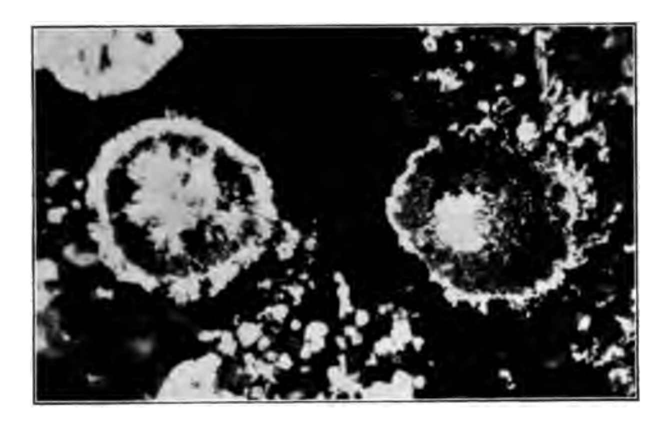


Fig. 6. 400 ×. Öl. Gelpyrite. Weiß: Pyrit (mit wenig Kupferkies), grau: Zinkblende, schwarz: Quarz. Text S. 121 unten.

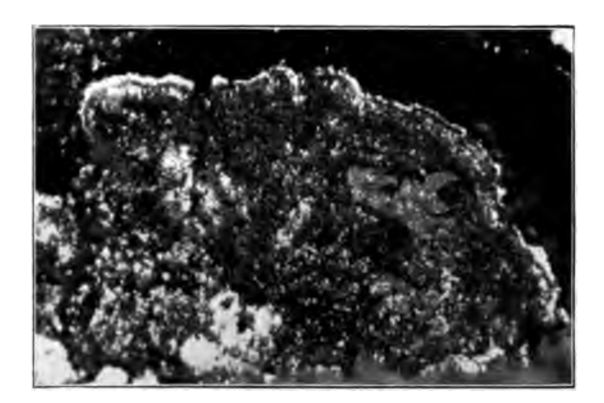


Fig. 7. 200 ×. Öl. Pyrit: weiß, Zinkblende: hellgrau (Insel in der rechten Hälfte der Pyritwolke!). Gangart: außerhalb der Wolke schwarz, innerhalb infolge der Überstrahlung durch die tiefer gelegenen Pyritteilchen grau. Hellgrauer Saum rechts unten ist ebenfalls überstrahlte Gangart. Text S. 123 unten.

welche perlschnurartige Züge meist innerhalb einer Umgebung von Zinkblende bilden.

Bezeichnend sind auch wolkige Anhäufungen von feinsten Pyritteilchen in quarziger Grundmasse. Sie sind randlich von einer dünnen Pyritschale umgeben (Fig. 7).

Idiomorphe Pyrite finden sich nur in den massigen Pyritlagen, wo die andern Sulfide stark zurücktreten. Hier, wo Pyritkorn an Pyritkorn grenzt, war offenbar eine diagenetische Sammelkristallisation besonders begünstigt, die auch den alten Gelcharakter verschleierte. Bei genauem Zusehen findet man aber auch in den idiomorphen Pyriten rundlich angeordnete ovoidartige Einschlüsse. Die Erkennung solch feiner Strukturen verlangt eine sehr gute Politur der Schliffe und die Bestimmung ist bei den geringen Dimensionen schwierig, meist sogar unmöglich. Es steht fest, daß in den meisten Fällen Zinkblende und Quarz, seltener Kupferkies, Magnetkies und Kalkspat (bzw. Dolomit?)

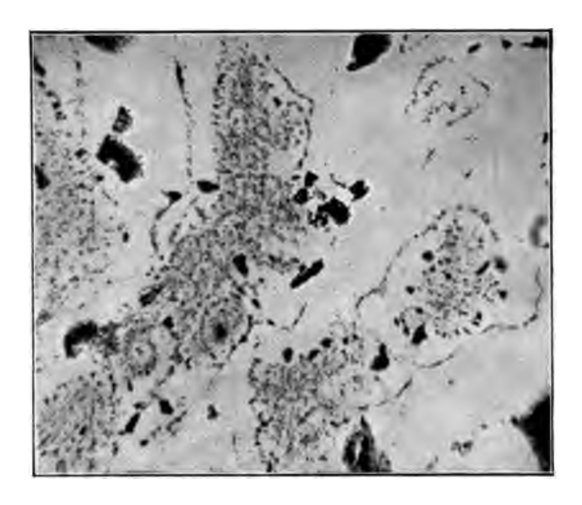


Fig. 8. 600 ×. Öl. Sehr feine, kreisförmige Einschlüsse in Pyrit, die nach außen hin in kristallographisch geregelte Einschlüsse übergehen. Hier sind offenbar eine Menge kleiner Gelpyrite zuerst zu einem Aggregat von idiomorphen Pyriten weitergewachsen, das sich dann schließlich zu einem äußerlich einheitlichen großen Pyritkristall zusammenschloß. Text S. 124.

daran beteiligt sind (Fig. 8, 9 und 10). Diese feinen Strukturen sind besonders wichtig, weil sie, wie wir weiter unten sehen werden, auch in den tektonisch stark mitgenommenen Erztypen 3 und 4 als einzige Gelstrukturen noch vorkommen.

Auf die bekannten Kupferkiesovoide in Zinkblende wird noch weiter unten eingegangen werden.

Bemerkenswert ist schließlich noch die Zusammensetzung des Zementes zwischen den Erzen. Es handelt sich um ein sehr fein und lappig verwachsenes Quarz-Kalkspatgemenge, in dem hin und wieder auch Chloritschüppchen auftreten. Meist überwiegt der Quarz. Das Ganze erinnert im Schliff an Lydite, die in der Kupferberger Schieferserie nicht selten sind.

Alles in allem lassen die Beobachtungen an Erz und „Gangart“ den Schluß zu, daß wir im Erztyp 1 ein altes sulfidisches Sediment vor uns haben, in dem Gelstrukturen und sogar noch eine alte Sedimentationsschichtung erhalten geblieben sind. Der Erztyp 1 ist nur diagenetisch schwach verändert. Die metamorphosierende Tektonik konnte diesen soliden Pyritkörpern nichts anhaben.

Typ 2.

Typ 2 ist im Prinzip als Typ 1 aufzufassen, in den Kupferkies in mäßigen Mengen eindrang, wobei er oft die Richtung der sedimentären Bänderung benutzte. Mit dem Kupferkies kann Kalkspat,

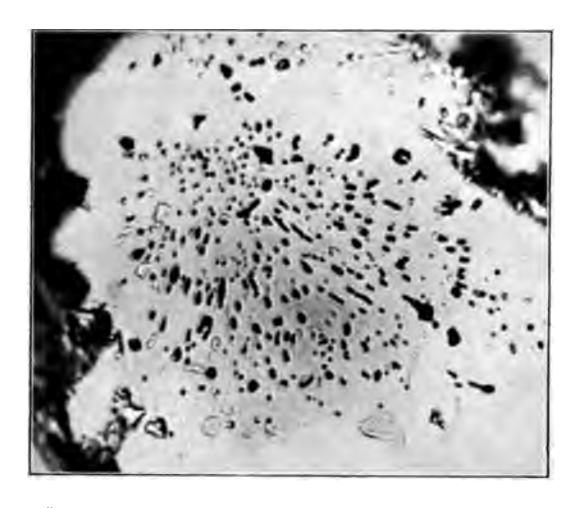


Fig. 9. 1500 ×. Öl. Einschlüsse wie in Fig. 8. Die hellen Partikelchen sind wohl Kupferkies, die schwarzen Zinkblende oder Gangart.

Quarz und etwas Zinkblende zugeführt werden. Die Pyrite liegen nicht so dicht gepackt wie im Typ 1. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber der intensiven varistischen Tektonik war hierdurch stark herabgesetzt. Kataklase der Pyrite, Lösungszufuhr und Pyritverdrängung sind die Folgen. Die feinverwachsenen Gelstrukturen sind diesen Vorgängen offenbar nicht gewachsen. Es herrschen gröbere Strukturen vor. Typisch sind rundliche Pyrite, meist sehr porös und schlecht zu polieren, mit radialen Rißbildungen (Schrumpfungsrisse nach Ramdohr; Fig. 11). Die Pyrite führen öfters feine, rundlich angeordnete oder wolkige Einlagerungen (siehe Typ 1), die besonders bei geätzten Schliffen gut hervortreten. Manchmal sind die Einschlüsse auch gröber, und man kann feststellen, daß es sich um Quarz, seltener um Zinkblende, Kalkspat und Kupferkies handelt (Fig. 12).

Oft beobachtet man, daß die Gelpyrite idiomorph weitergewachsen sind. Feinste Einschlüsse in den neuen Randbezirken zeigen dann Regelung nach den Pyritkristallflächen, während die Einschlüsse im Innern des Kristalls noch rundlich angeordnet sind (Fig. 8, 13).

Es haben nun aber nicht alle Kupferberger Pyrite einen Gelkern. Es kommen genügend Pyrite vor, die bis ins Zentrum hinein kristallographisch geregelte Einschluß-Partikelchen führen. Diese offenbar jüngeren Pyrite sind wohl aus Lösungen auskristallisiert, welche vorher Pyrit verdrängt hatten. Neuzufuhr von Pyrit liegt nämlich sicher nicht vor, denn die weiter unten beschriebene hydrothermale Ganggeneration scheint, soweit beobachtet, überhaupt keinen Pyrit zu führen. Es wird sich also um in der näheren Umgebung mobilisiertes Pyritmaterial handeln.

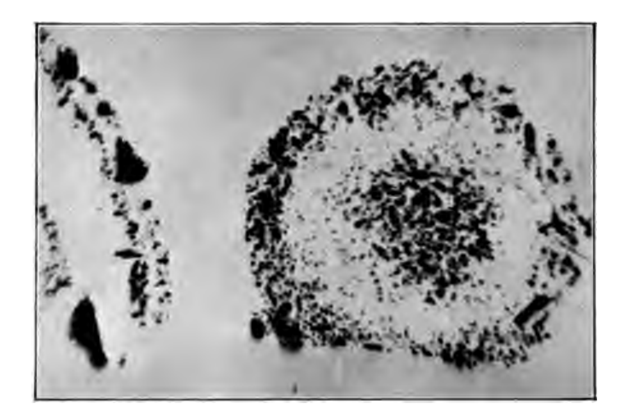


Fig. 10. 1000 ×. Öl. Geätzt. Etwas gröbere Einschlüsse in Pyrit, aus Zinkblende und Gangart.

Auch das Pyritmaterial, das für das Weiterwachsen von Gelpyriten verwendet wurde, dürfte zum großen Teil durch diese Verdrängungslösungen herbeigeführt worden sein. In dichten Aggregaten kann aber sicherlich auch eine diagenetische Sammelkristallisation eine Rolle spielen, wie dies schon beim Erztyp 1 erwähnt wurde.

Auch die jungen Pyrite können dann wieder verdrängt werden! Pyritaufbau und Pyritabbau ging offenbar mehr oder weniger gleichzeitig nebeneinander her.

Sehr aufschlußreich können sich Verdrängungen an idiomorphen Pyriten erweisen, die eine innere Gelanlage besitzen. Hier konnte in verschiedenen Stadien beobachtet werden, wie das verdrängende Kupferkies-Quarz-Kalkspatgemenge die idiomorphen Pyrite anfrißt, einzelne widerstandsfähige Schalen stehen läßt, andere ganz weglöst und auf diese Weise die vorher unsichtbare, latente Gelstruktur heraus-

entwickelt. Auf Fig. 15 sieht man, wie Pyrite, die eine innere (hier sichtbare!) Gelanlage tragen, randlich verdrängt werden. Das Ende dieses Vorganges sind Ringe aus Pyritstückchen, die durch Kupferkies verkittet sind. Dieser Verdrängungstypus beschränkt sich übrigens nicht nur auf Gelpyrite, sondern tritt auch bei den jungen, „durch und durch idiomorphen" Pyriten auf. Die „Restringe" zeigen in diesem Falle kristallographische Formen. Da die meisten Pyrite indessen idiomorph nachgewachsene Gelpyrite sind, ist es nicht verwunderlich, daß man bei den entsprechenden Restringen auch am häufigsten nebeneinander teils mehr rundliche, teils mehr kristallographische Formen vorfindet (Fig. 16).

Weitere Gelreliktstrukturen liegen wahrscheinlich in den wolkig und rundlich angeordneten Kupferkiesovoiden der Zinkblende vor.

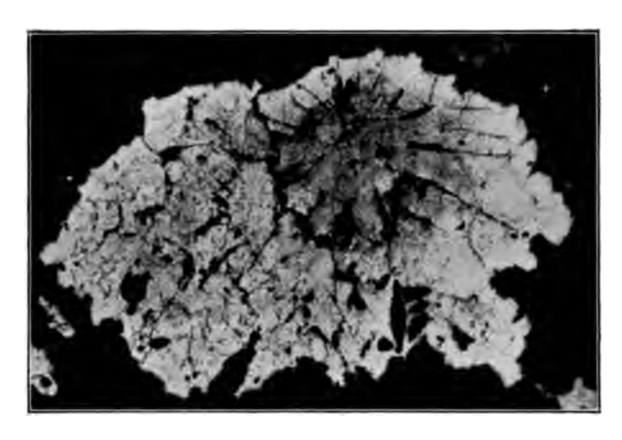


Fig. 11. 100 ×. Luft. Geätzt. Gelpyrit mit „Schrumpfungsrissen". Gangart aus Quarz und Kalkspat. Text S. 125 unten.

So schön wie die aus dem Rammelsberg beschriebenen sind sie hier allerdings nicht (36). Deutlich konzentrische Anordnungen kommen zwar häufiger vor, aber nur sehr selten kann man beobachten, daß sie über mehrere Zinkblendekörner hinweggreifen, weil es sich in Kupferberg immer nur um sehr kleine Bildungen handelt. Sie sind im Erztyp 2 noch mit am besten vertreten, denn einerseits ist hier der Gehalt an primärem Kupferkies größer als im Erztyp 1, andererseits ist die tektonische Durcharbeitung, die natürlich für die Erhaltung auch dieser Strukturen Gefahr bringt, noch verhältnismäßig schwach.

Während Ramdohr derartig angeordnete Kupferkiesovoide in Zinkblende für Trennungsprodukte ursprünglich gemischter Sulfidgele hält, eine Ansicht, der ich mich anschließen möchte, hat Frebold die Ovoide mit einer Einwanderung aus benachbartem Kupferkies in die Zinkblende erklärt (15). Diese Deutung ist in Kupferberg wohl

nicht zutreffend. Es kommen Ovoide in Zinkblende auch dann vor, wenn im Schliff freier Kupferkies ganz fehlt. Und wenn ovoidführende Zinkblendeaggregate an Kupferkies grenzen, dann sind die Ovoidkreise keineswegs an die äußere Gestalt der Zinkblendeaggregate gebunden, und an Einbuchtungen, die der angrenzende Kupferkies mit verdrängender Wirkung häufig in die Zinkblende frißt, setzen die Ovoidkreise ab. Es ist auch nicht anzunehmen, daß einwandernder Kupferkies sich in Ovoidform auf alten Gelschalen der Zinkblende abgelagert haben könnte, denn die Zinkblende zeigt immer eine grobe Rekristallisationsstruktur, wie angeätzte Schliffe zeigen. Alle diese Gründe lassen eine Einwanderung der Ovoide als ganz unwahrscheinlich erscheinen. Im Gegenteil: Es ließ sich sogar eine lokale Auswanderung



Fig. 12. 400 ×. Luft. Grobe Einschlüsse aus Quarz mit etwas Kupferkies in Pyrit. Text S. 125 unten.

der Ovoide dort feststellen, wo Kupferkies an die ovoidführende Zinkblende grenzt. Sie äußert sich in einer Ovoidfreiheit der Grenzzone gegen den Kupferkies, nicht aber gegen die übrigen Nachbarminerale. Hand in Hand mit dieser Auswanderung geht manchmal ein Zusammenlaufen der Ovoide im Zentrum eines ovoidführenden Zinkblendeaggregates. Hierbei können kristallographische Richtungen der Zinkblendekörner abgebildet werden. Auch ein Zusammenlaufen auf Korngrenzen der einzelnen Zinkblendekörner ist manchmal zu beobachten.

Eine weitere Deutung der Kupferkiesovoide in Zinkblende wurde schließlich noch von SCHOUTEN (39) gegeben. SCHOUTEN machte die Beobachtung, daß feine, kreisförmig in Zinkblende eingelagerte Pyritstückchen, die ihrerseits Restbestände von durch die Zinkblende weitgehend verdrängten Gelpyriten darstellen, an Randstellen manchmal

in Kupferkies umgewandelt werden können. Auf Grund dieses Befundes sollen nun ganz allgemein Kupferkiesovoide in Zinkblende immer aus Pyritreststückchen entstanden sein.

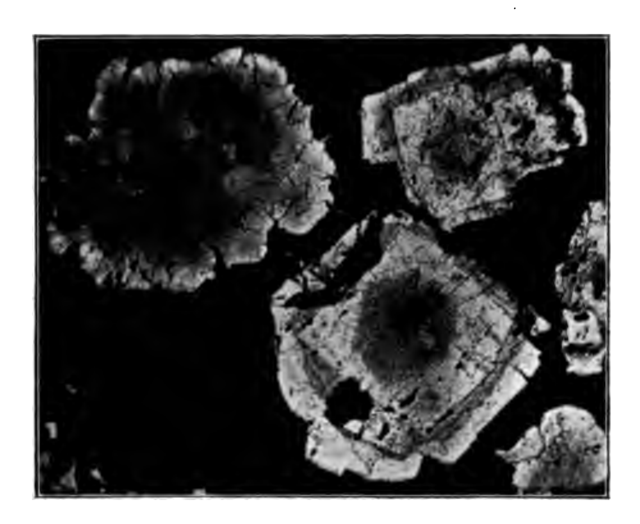


Fig. 13. 200 ×. Luft. Geätzt. Idiomorphes Weiterwachsen von Gelpyriten. **Die kreisförmige Anordnung** der sehr feinen Einschlußpartikelchen im Zentrum **besonders des unteren Kristalles** ist in der Reproduktion leider nicht gut zu sehen. **Text S. 126 oben.**

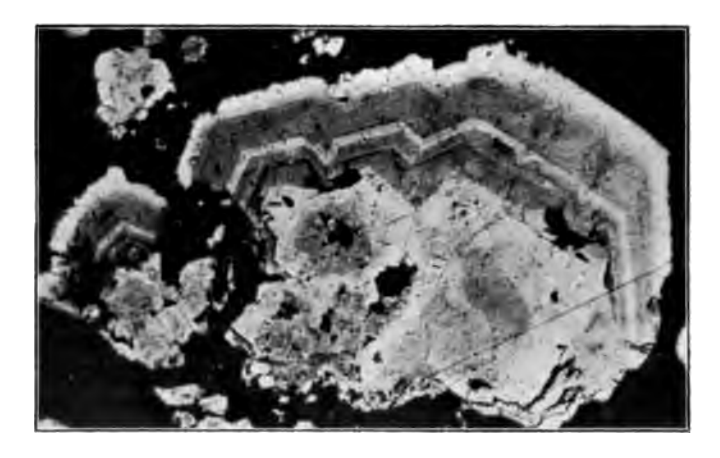


Fig. 14. 100 ×. Luft. Geätzt. Pyrit-Zonarbau.

Derartige Pyriteinlagerungen in Zinkblende wurden auch im Kupferberger Erztyp I beobachtet (Fig. 7), und es ist sicherlich nicht zu bestreiten, daß durch den von SCHOUTEN beobachteten metasomatischen Vorgang derartige Pyriteinschlüsse zu „Kupferkiesovoiden“

werden können. Es ist meiner Ansicht nach aber kaum anzunehmen, daß auf diese Weise auch die große Menge der typischen Kupferkiesovoide gebildet wurde, bei denen jeglicher Hinweis auf eine Entstehung aus Pyrit zu fehlen pflegt. SCHOUTEN ist allerdings zu seiner unwahrscheinlichen Verallgemeinerung genötigt, weil er nur dem pyritischen Erzanteil in den von ihm beschriebenen Kieslagern eine ursprüngliche Gelstruktur zubilligen will und alle anderen Komponenten für jüngere Zufuhr hält. In pyritfreien Gelstrukturen, wie sie die rundlich und wolkig angeordneten Kupferkiesovoide in Zinkblende darstellen, muß er deshalb einen ursprünglichen, jetzt aber völlig von Kupferkies verdrängten Pyritanteil annehmen (vgl. auch S. 141).

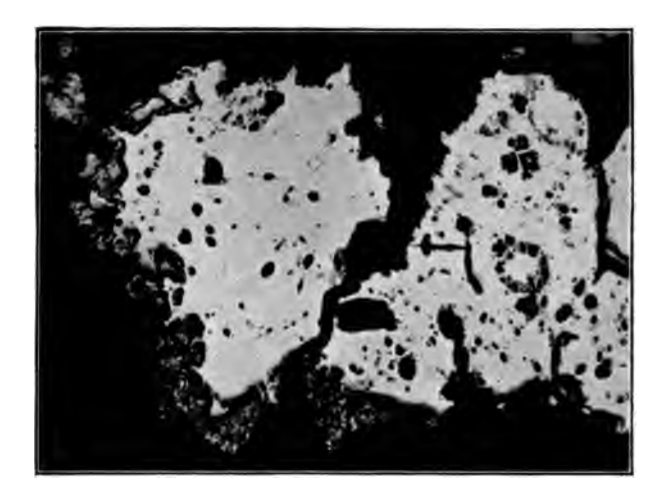


Fig. 15. 200 ×. Öl. Pyrit mit kreisförmigen Einschlüssen wird randlich in ein Gemenge von Pyrit- und Kupferkiesstückchen umgewandelt. Schreitet diese Verdrängung weiter fort, dann bleiben nur noch Ringzonen vom Pyrit übrig (Fig. 16). Weiß: Pyrit, hellgrau: Kupferkies, schwarz: Gangart. Text S. 126 unten — 127 oben.

Kataklase der Pyrite spielt im Erztyp 2 keine unbedeutende Rolle, hält sich aber noch in mäßigen Grenzen. Eine Verschieferung der Erzpakete erfolgte hier noch nicht. Aus diesem Grunde sind manche im folgenden beschriebenen Verdrängungsbilder im Typ 2 auch besonders schön, denn die Verdrängungsvorgänge konnten in Ruhe vor sich gehen, ohne daß verschiefernde Bewegungen die Ergebnisse des Verdrängungsvorganges wieder zerrissen.

So kann manchmal die Verdrängung junger Pyrite derartig intensiv sein, daß nur noch kleinste Bruchstückchen des Pyritkristalles als Skelett stehenbleiben. Hin und wieder sind auch noch die Umrisse des alten Kristalles zu erkennen (Fig. 19 und 17).

Solche Bildungen erwecken den Eindruck von Entmischungsstrukturen. Übergänge von lappig verdrängten Pyriten zu solchen feinen Pyritteilchennetzen beweisen jedoch die Verdrängungsstruktur. Manchmal liegen auch innerhalb solcher netzartiger Strukturen größere Reststücke von Pyrit und ihre kristallographischen Begrenzungen sind der Richtung des Netzwerkes parallel angeordnet. Die Teilchen haben also die alte Pyritrichtung beibehalten (Fig. 19).

Hin und wieder tritt Kupferkies und Zinkblende in sehr feiner Verwachsung auf, die ebenfalls netzartig angeordnet sein kann. Derartige Kupferkies-Zinkblendegemenge verdrängen den Pyrit genau so, wie es reiner Kupferkies vermag. Ist ein deutliches Kupferkies-Zinkblende-Netzwerk ausgebildet, dann sieht man, daß die Pyritteilchen

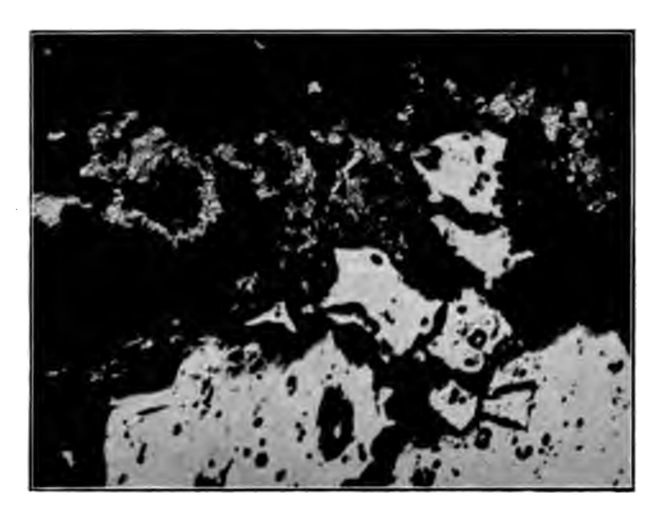


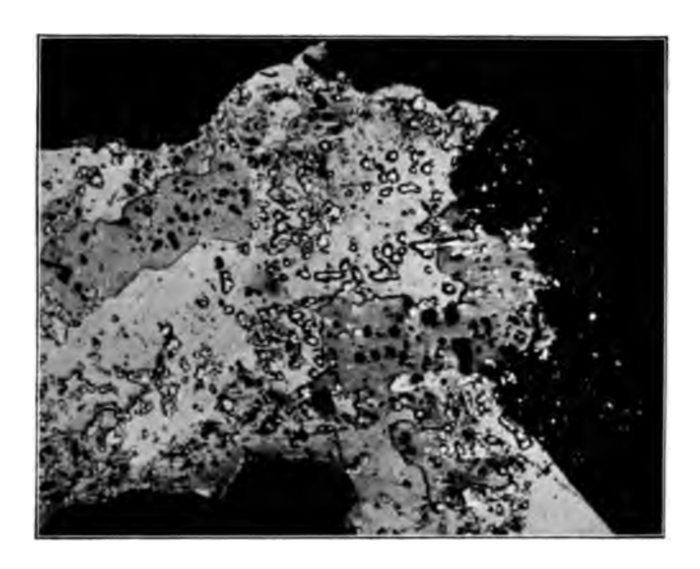
Fig. 16. 200 ×. Öl. Vgl. Fig. 15. Weiß: Pyrit. Die Ringe in der oberen Hälfte der Figur bestehen aus Pyritstückchen, die mit Kupferkies verkittet sind. Schwarz: Gangart.

stets parallel diesen Netzrichtungen liegen. Neukristallisationen, die sich dem Netzwerk einpaßten, sind diese Pyritteilchen auch hier nicht. Fig. 18 und 20 zeigen deutlich, daß es sich um Verdrängungsreste handelt. In Fig. 18 beobachtet man ferner, daß die Pyritteilchen über das verdrängende Kupferkies-Zinkblende-Netzwerk hinaus in die (ebenfalls verdrängende) Gangart übergreifen, ohne ihre Richtung zu ändern. Daraus kann man sehen, daß die Pyritteilchenanordnungen sich nicht nach dem Kupferkies-Zinkblende-Netzwerk richten. Im Gegenteil, das Netzwerk orientiert sich nach den kristallographischen Richtungen des fast völlig verdrängten Pyrites.

Die Entstehung des Kupferkies-Zinkblende-Netzwerkes selbst ist, wie sich an Übergangsbildungen feststellen ließ, wohl auch durch

einen Verdrängungsprozeß, nicht durch gleichzeitige Abscheidung entstanden. Verdränger ist auch hier der Kupferkies.

Die Bildung des vorhin beschriebenen Kupferkies-Zinkblende-Pyrit-Netzwerkes dürfte hiernach möglicherweise so vor sich gegangen sein, daß zuerst Zinkblende den Pyrit zum Pyritskelett verdrängte, wobei die Zinkblende sich in ihrer Orientierung nach dem verdrängten Pyrit richtete. Der danach angreifende Kupferkies richtete sich seinerseits wieder nach der Zinkblende, also letzten Endes auch nach dem Pyrit, mit dem Erfolg, daß alle drei Mineralien die gleiche Orientierung aufweisen.



Fig, 17. 500 ×. Luft. Weiß, hohes Relief: Pyrit, grauweiß: Kupferkies, hellgrau: Zinkblende, schwarz: Gangart. Kupferkies, Zinkblende und Gangart haben den Pyrit in kleine Bruchstücke aufgelöst. Text S. 130 unten.

Der nichtopake Mineralanteil im Typ 2 besteht in der Hauptsache wieder aus Quarz und Kalkspat. Auffallend ist die Änderung gegenüber Typ 1. Der feinverwachsene quarzitische und quarzitisch-kalkige Anteil beschränkt sich auf einzelne Inseln, die besonders häufig innerhalb von dichten Pyritpartien erhalten geblieben sind. Der neu zugeführte Quarz und Kalkspat bildet klare, grobkristalline Partien. Kalkspat (oder Dolomit ?) bildet hin und wieder Idioblasten, die im feinkristallinen quarzitischen Sediment liegen und mit feinen Quarzeinschlüssen erfüllt sind.

Zusammenfassend läßt sich vom Typ 2 sagen, daß hier Erz- und Gesteinsmaterial vorliegt, das noch mancherlei Merkmale seiner syngenetisch-sedimentären Herkunft aufweist, aber durch Zufuhr,

Verdrängung und Umkristallisation schon viel von seinem ursprünglichen Aussehen eingebüßt hat. Tektonische Beanspruchung zeigt sich nur in der mäßigen Kataklase der Pyrite und der meist stark undulösen Auslöschung der Quarze.

Erztyp 3 und 4.

Das Nebengestein besteht hier aus weichem, chloritführendem Schiefer. Diese beiden sehr häufigen Erztypen haben ausgesprochen schichtigen Charakter. Schieferlagen, in denen ausgewalzte Nester von Pyrit und Titanit liegen, wechseln mit pyrit- und kupferkiesreichen Lagen.

Die Kataklase der Pyrite ist sehr stark und kann zu völliger Verschieferung führen (Fig. 21 und 22).



Fig. 18. 300 ×. Luft. Weiß, hohes Relief: Pyrit, weiß, kein Relief: Kupferkies, hellgraue gitterartige Einlagerungen im Kupferkies: Zinkblende, dunkle Umgebung; Quarz, Kalkspat. Text S. 131.

Die Verdrängungserscheinungen an Pyrit sind nicht minder intensiv. Die schönen Verdrängungsbilder vom Typ 2 konnten sich hier allerdings nicht entwickeln. Wenn ein Pyrit durch Verdrängung in die schon beschriebenen kleinsten Teilstückchen zerlegt wird, dann bleiben sie hier nicht als Gerüst stehen, sondern werden in den Kupferkiesschnüren schweifartig ausgezogen und weiterbewegt.

Eine Folge der Verdrängungsvorgänge am Pyrit sind auch hier Neubildungen junger Pyrite.

Es ist erstaunlich, daß sich selbst in diesen „Tektoniten“ noch Relikte primärer Gelstrukturen finden. Es handelt sich um die schon beim Typ 1 beschriebenen winzig kleinen Bildungen, die auf Grund ihrer geringen Dimensionen der Zerstörung zum Teil entgehen konnten

(Fig. 8, 9). Diese Strukturen haben sich in allen pyritführenden Erzen im ganzen Grubengebiet gefunden. Erze des Rotenhanschachtes im Norden führen sie genau so wie die Proben aus dem Abbau des St. Veit-Morgenganges im Süden des Grubenfeldes und zeigen, daß ein großer Teil des Kupferberger Pyrites primär-syngenetischer Entstehung ist.

Die beobachteten Verschieferungserscheinungen im Typ 3 und 4 lassen den Schluß zu, daß nicht nur das Nebengestein, sondern auch der Pyrit die varistische Orogenese mitgemacht hat. Das gilt dann aber auch für die Erztypen 1 und 2, die nur auf Grund ihrer größeren Festigkeit der Verschieferung entgingen. Eine postvaristische Bildung, wie sie WURM und zum größten Teil auch BRAND annahm, kommt

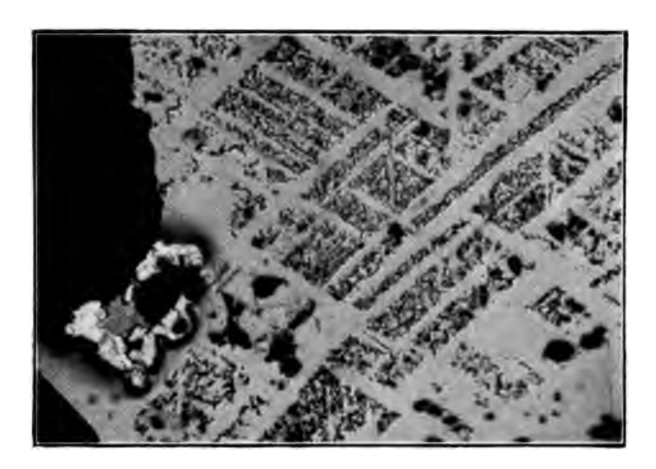


Fig. 19. 300 ×. Öl. Pyrit (weiß, hohes Relief) wird durch Kupferkies (grauweiß) zu einem feinen Netzwerk aufgelöst. (Die feinsten Pyritteilchen sind infolge des Reliefs dunkler als der umgebende Kupferkies!) Text S. 130 unten — 131 oben.

hiernach nicht mehr in Frage. Der Nachweis der prävaristischen Bildung steht in gutem Einklang mit der Vorstellung einer ursprünglich syngenetisch-sedimentären Entstehung der Erze.

Schwieriger ist die Deutung des Kupferkieses, der im Typ 3 besonders reich vertreten ist, und sich überall in feinen ± konkordanten Schnüren in die Pyrit- und Schieferlagen hineindrängt, wobei er besonders die Pyritlagen bevorzugt. Dieses blatt- für blattartige Eindringen kann nur gleichzeitig mit der verschiefernden varistischen Tektonik vor sich gegangen sein!

Auch die schweifartig auseinandergezogenen Verdrängungsreste zeigen, daß der Kupferkies seine pyritverdrängende Tätigkeit unter gleichzeitigen Bewegungsvorgängen ausführen mußte. Dieser Kupferkies ist also sicherlich nicht postvaristisch. Postvaristischer Kupferkies

hätte sich in Gangscharen abgesetzt, wie es die unten beschriebenen hydrothermalen Erze auch getan haben.

Das Gleiche wie für den Kupferkies gilt auch für die Quarz- und Kalkspatschnüre des Typus 4. Es sieht also so aus, als sei während der varistischen Orogenese eine Kupferkies-, Quarz- und Kalkspatzufuhr erfolgt, die die schieferdurchsetzten Pyritlagen besonders stark heimsuchte: Typ 3 und 4, aber auch vor den kompakteren Pyritbänken nicht völlig haltmachte: Typ 2.

Man muß sich jetzt fragen, woher denn nun diese Zufuhr kommt, und ob sie vielleicht mit den postvaristischen hydrothermalen Gängen zusammenhängt, die das Lager durchsetzen und deren Zusammensetzung weiter unten beschrieben werden soll.



Fig. 20. 1000 ×. Öl. Kupferkies-Zinkblende-Pyrit-Netzwerk, Weißes, hohes Relief: Pyrit, hellgrau: Kupferkies, dunkelgrau: Zinkblende. Text S. 131.

WURM hat die Frage in diesem Sinne beantwortet. Er faßt den gesamten Kupferkies, des Lagers und der Gänge, zu einer einheitlichen zweiten Generation zusammen (48) (siehe auch S. 118). Das ist nach den erzmikroskopischen Beobachtungen aber sicher nicht zutreffend. Erstens zeigt der Gangkupferkies eine reiche Paragenese, die seiner hydrothermalen Abkunft entspricht. Der Kupferkies der Lagererze führt aber nur etwas Zinkblende und entspricht in seiner paragenetischen Armut den syngenetischen Erzen. Zweitens ist, wie unten näher ausgeführt werden wird, der Gangkupferkies postvaristischen Alters, während der Lagererz-Kupferkies in seinen Texturen auf paratektonischen Absatz schließen läßt. Diese Annahme gewinnt durch eine weitere Beobachtung an Wahrscheinlichkeit: Der Lagererzkupferkies verdrängt ja syngenetischen Pyrit; das verdrängte Material bildet

neue Pyrite, manchmal sogar kleine Pyritgängchen im Schiefer. Ein Teil dieser jungen Pyrite zeigt nun Kataklase, genau wie die Gelpyrite. Fig. 22 zeigt ein völlig zerbrochenes Pyritgängchen im Schiefer. In nächster Nachbarschaft grenzte hier Gangkupferkies mit Arsenkies an, der unzerbrochen war! Arsenkies steht dem Pyrit im physikalischen Verhalten nahe. Seine Unversehrtheit läßt auf posttektonischen Absatz der Gangerze schließen, während die jüngeren Pyrite des Lagers noch von den Auswirkungen der varistischen Tektonik betroffen wurden. Da die jungen Pyrite aber dem verdrängenden Lagererz-Kupferkies ihre Entstehung verdanken, muß auch für diesen eine posttektonische Entstehung abgelehnt werden.

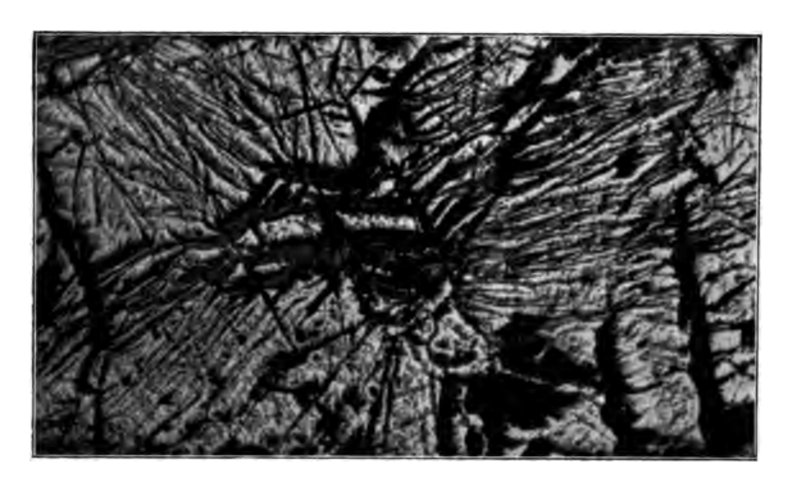


Fig. 21. 200 ×. Luft. Intensive Pyritkataklase. Die gröberen Risse sind mit Kupferkies erfüllt. Text S. 133 oben.

Nach allen diesen Feststellungen könnte der Lagererz-Kupferkies ein komponentenarmer, paratektonischer Vorläufer des komponentenreichen, posttektonischen Gangkupferkieses sein. Die Komponentenarmut könnte man vielleicht erklären, wenn man annimmt, daß nur die Kupferkieskomponente so intensiv in die feinen Pyrit- und Schieferlagen einzudringen vermochte, während die anderen Komponenten zurückblieben und erst in den postvaristischen Gängen angereichert wurden.

Man kann indessen auf die Annahme einer paratektonischen Vorläufergeneration und auf eine eigene Deutung ihrer paragenetischen Armut verzichten, wenn man im Lagererz-Kupferkies mobilisiertes syngenetisches Material sieht.

Die Komponentenarmut findet damit eine ganz zwanglose Erklärung. Die epizonale varistische Tektonik, welche das injektionsartige

Eindringen des Kupferkieses erleichterte und ermöglichte, wäre zugleich auch der mobilisierende Faktor! Der Lagererz-Kupferkies der Erztypen 2 bis 4 würde dann zusammen mit den jungen Pyriten eine pseudo-epigenetische, paratektonische Generation aus mobilisiert-syngenetischem Material bilden. Der Kupferkies wird hierbei nur mobilisiert und umgelagert, während der Neubildung des Pyrits erst noch eine Verdrängung von syngenetischem Pyrit vorausgehen mußte.

Der Einwand, die syngenetische Generation führe zu wenig Kupferkies, um als Lieferant in Frage zu kommen, ist nicht stichhaltig. Es ist wahrscheinlich, daß kupferkiesreiche syngenetische Lagen der Typen 3 und 4 völlig umgearbeitet wurden und heute unsere Mischerze darstellen, während in den pyritreichen, tektonisch geschützten Lagen

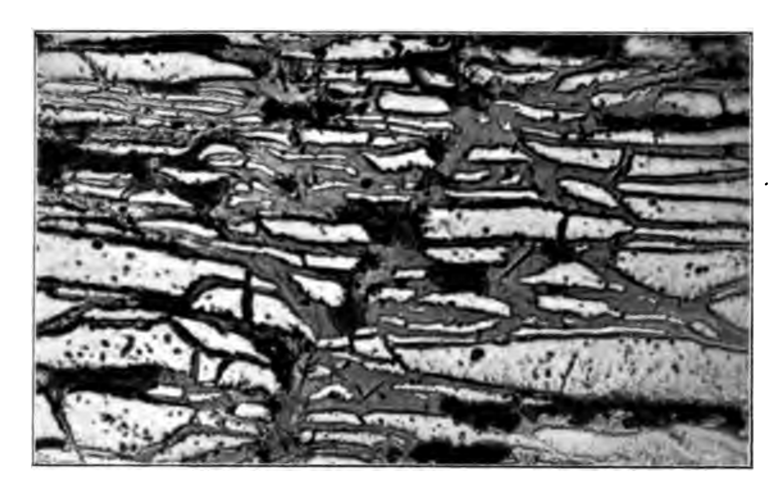


Fig. 22. 900 ×. Öl. Intensive Pyritkataklase. Pyrit: weiß. Die Risse mit Kupferkies erfüllt (grau). Kupferkies beginnt von den Rissen aus den Pyrit zu verdrängen. Text S. 133 und S. 136 oben.

(Typ 1) der spärliche syngenetische Kupferkies von einer weitgehenden Mobilisation verschont blieb.

Die Mobilisation selber ist sicherlich ein komplexer und im einzelnen komplizierter und unübersehbarer Vorgang. Deformierbarkeit und Lösungsverhalten sind die wesentlichen Faktoren. Im allgemeinen kann man sagen, daß die herrschenden Lösungs- und Verdrängungstendenzen mit zunehmender tektonischer Beanspruchung steigen. Die Beobachtungen an den Gelstrukturen von Typ 1 haben gezeigt, daß Pyrit in Verwachsung mit Kupferkies, Zinkblende und Quarz unbeständig sein kann und von diesen Mineralien verdrängt wird. Die Lösungsaktivität dieser Komponenten gegenüber dem Pyrit verstärkt sich mit wachsender tektonischer Beanspruchung, und die lokalen Korngrenzenreaktionen machen jetzt ausgedehnten Lösungsumsetzungen Platz. Offenbar gehen Kupferkies, Quarz und Kalk am leichtesten in Lösung und verdrängen dann den Pyrit und den Schiefer. Zinkblende nimmt eine Mittelstellung ein. Teils verdrängt sie, teils wird sie verdrängt. Die Aktivität ins-

besondere des Kupferkieses wird durch seine Plastizität erhöht, die zu einer Konzentration der tektonischen Kräfte auf die kupferkiesreichen Schichten führte. Kupferkies wird deshalb besonders leicht mobilisiert und hat dann besonders starken pseudo-epigenetischen Charakter.

Der Pyrit ist trotz seiner starken Verdrängbarkeit gegenüber dem andern Material der beste Konservator für primäre Gelstrukturen. Erstens ist sein plastisches Verhalten sehr gering. Er wird nicht verformt, sondern antwortet auf epizonale Beanspruchung mit Kataklase. Der zweite sehr wesentliche Faktor ist seine starke Neigung zur Ausbildung von großen idiomorphen Einzelkristallen, in denen die primären Strukturen gut geschützt liegen.

Zusammenfassend wäre festzustellen: Die Kupferberger Lagererze sind allem Anschein nach in ihrer Gesamtheit syngenetisch-sedimentäre Bildungen, die durch die Einwirkung einer epizonalen varistischen Tektonik mehr oder weniger stark verändert wurden. Der kompakte, fast nur aus Pyrit bestehende Erztyp 1 wird nur diagenetisch verändert. Der lockerer aufgebaute Erztyp 2 zeigt schon Kataklase der Pyrite und Durchdringung mit mobilisiertem Kupferkies, Quarz und Kalk.

In Typ 3 und 4 wechsellagern Erz und Gestein in dünnen Schichten. Hier erst konnte sich die verschiefernde varistische Tektonik in vollem Maße auswirken. Das Gestein wird verschiefert, zum Teil auch verdrängt. Der Pyrit wird zerbrochen, verschiefert, verdrängt, umkristallisiert, umgelagert. Kupferkies, Zinkblende, zum Teil Quarz und Kalkspat werden mobilisiert, wirken verdrängend und benehmen sich wie neu zugeführtes Material.

Die häufige Idiomorphie der Pyrite, auch der ursprünglichen Gelpyrite, und die „Zufuhr" von Kupferkies, Quarz und Kalkspat verleiht den Lagererzen gegenüber dem nur schwach metamorphen Nebengestein einen pseudo-epigenetischen Charakter. In Wirklichkeit ist nur der Grad der Metamorphose höher. Das Nebengestein ist durchgehend schwach epizonal, während im Erz durch die gleichen tektonischen Vorgänge dicht nebeneinander epi-, meso- und katazonale Typen entstanden sind. Die Feststellung Ramdohrs (36), daß die Sulfidmetamorphose der Silikatmetamorphose im allgemeinen beträchtlich vorausläuft, hat sich auch an den Kupferberger Erzen bewährt!

Die Herkunft der syngenetischen Lagererze möchte ich, wie es auch Brand getan hat, mit dem submarinen Ausbruch des benachbarten Diabases in Verbindung bringen, der heute das Erzlager auf der SW-Seite streichend begleitet, und nur durch eine geringmächtige Sedimentdecke von ihm getrennt ist. Offenbar hat mit dem Einsatz der Sedimentation nach dem Erguß eine starke Ausfällung von Sulfiden eingesetzt, die zusammen mit dem Detritus auf die neugebildete Diabasdecke sedimentierten. Die Mächtigkeit der sulfidischen Sedimente wird durch diesen Entstehungsvorgang ohne weiteres ver-

ständlich. Rezente Erscheinungen dieser Art hat BERNAUER von der Insel Vulkano beschrieben (5, 6).

Besprechung von Einwänden gegen die Annahme einer syngenetischen Bildungsweise.

WURM hat sich gegen die von BRAND geäußerte Annahme einer syngenetischen Generation gewandt (48).

Wenn auch die Feststellung von der Syngenese des ganzen Lagers mit der kleinen syngenetischen Pyritgeneration BRANDS hinsichtlich Abgrenzung, Inhalt und Entstehung nur noch wenig gemein hat: Die Altersfrage bleibt die gleiche! WURMS kritische Ausführungen betreffen deshalb auch die vorliegenden Ergebnisse. WURM meint, daß die beobachtete Linsenform einzelner Pyritkörper gegen syngenetische Entstehung spräche. Diese Linsenform ist jedoch sicherlich ein Produkt der varistischen Tektonik. Vielleicht lag auch ein rascher Sedimentationsfazieswechsel zwischen Erz und Schiefersubstanz vor, der dann durch die Tektonik noch stärker ausgeprägt wurde.

WURM bezweifelt ferner, daß die Erzzone an einen bestimmten Gesteinshorizont gebunden sei, wie BRAND angibt. Er schreibt (48): „Vielfach wird angegeben, daß das Liegende des Erzes ein kohliger schwarzer Schiefer sei. Das ist manchmal, aber durchaus nicht immer der Fall. Mir scheint es aber so, als ob das Erz nicht lagenförmig an den Graphitschiefer gebunden sei, sondern daß da, wo die Erzlösungen auf den kohligen Schiefer trafen, die Erzausfällung begünstigt wurde."

WURM verweist hierbei auf die Bleierzgänge in dem Liegenden der Erbendorfer Kohle.

Dieser Vorgang mag stellenweise für den Absatz des mobilisiert-syngenetischen und des hydrothermalen Materials Bedeutung gehabt haben. Auch BERGEAT hat ihn zur Deutung der Erze von Stadtberge (4) herangezogen.

Doch spricht es keineswegs gegen Syngenese des Lagers, wenn der Schwärzschiefer nicht überall das Liegende bildet. Schiefer und Lager haben die varistische Orogenese und eine Reihe späterer Störungen über sich ergehen lassen müssen. Daß hierbei Ausquetschungen besonders bei dem weichen Schwärzschiefer vorgekommen sind, ist eher zu erwarten als verwunderlich. Auch BRAND schreibt schon vom Schwärzschiefer: „Seine Mächtigkeit scheint von Bewegungsrichtungen beherrscht und deshalb häufigem Wechsel unterworfen zu sein."

WURM hat ferner festgestellt, daß zwischen dem Generalstreichen der Schiefer und der Längserstreckung der gesamten Erzzone eine Differenz von ca. 10 bis 20 Grad besteht. Die Schiefer streichen im allgemeinen N 10—20 Grad W, die Längserstreckung des Lagers liegt in N 30—40 Grad W. BRAND führt diese Erscheinung auf jüngere Blattverschiebungen zurück. Auf seiner montangeologischen Karte

ist der Verlauf des Erzzuges so dargestellt, daß das jeweils südlich einer Verschiebung liegende Lagerteilstück etwas nach NO verschoben ist (Fig. 23).

Wurm meint jedoch, die abweichende Richtung des Erzzuges sei durch ein postvaristisches Fiederspaltensystem zustande gekommen, auf dem die epigenetischen Erzlösungen aufstiegen. Syngenese der Erze sei deshalb abzulehnen. Fig. 23 zeigt in einer schematischen Skizze die prinzipiellen Unterschiede der Auffassungen von Brand (links) und Wurm (rechts).

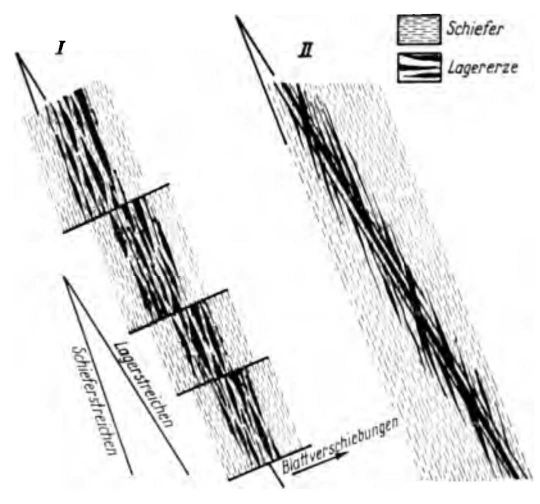


Fig. 23.

Noch bevor Aufschlußarbeiten diese Frage endgültig beantworten, kann man indessen schon heute vermuten, daß Wurms Annahme sich wohl nicht als zutreffend erweisen wird, denn die Lagererze sind ja prävaristisch gebildet. Die Winkeldifferenz zwischen der Streichrichtung des Lagers und dem Generalstreichen der Schiefer kann deshalb wohl nur sekundär-tektonischer Natur sein, in der Art, wie Brand es angenommen hat. Ein weiterer Einwand Wurms betrifft noch die zeitliche Dauer zwischen der syngenetischen Erzbildung im Kambrium und der Entstehung der postvaristisch-hydrothermalen Erze. Wurm hält diese lange Zwischenzeit für so unwahrscheinlich, daß er sich für eine postvaristische Bildung aller Kupferberger Erze ausspricht.

Hierzu ist zu sagen: Brand scheidet doch eine syngenetische und eine epigenetische Generation! Er nimmt damit zwei voneinander ganz getrennte Abläufe an. Warum soll nun nicht zwischen einer syn-

genetischen und einer epigenetischen Erzbildung ein beliebig langer zeitlicher Zwischenraum liegen? Es handelt sich doch um zwei voneinander ganz unabhängige Bildungsvorgänge!

Der Einwand wäre sofort berechtigt, wenn man — wie WURM, aber nicht wie BRAND — das gesamte Erz für epigenetisch hält. Dann wäre es freilich unangebracht, einen Teil des Erzabsatzes ins Kambrium, den andern Teil ins Oberkarbon zu legen, und man wird vorziehen, den Erzabsatz einem einheitlichen Bildungsakt zuzuschreiben. WURM hat das auch getan, indem er die gesamte Erzbildung mit den postvaristischen Fichtelgebirgsgraniten in Zusammenhang gebracht hat.

WURMS Kritik richtet sich speziell gegen die Syngenese von Kupferberger Erzen. Darüber hinaus hat sich neuerdings SCHOUTEN (39) ganz allgemein gegen die Annahme syngenetisch-sedimentärer Kieslager ausgesprochen, denn der Hauptbeweis für sedimentäre Syngenese, die Relikte primärer Gelstrukturen, seien immer epigenetisch und durch Metasomatose entstanden!

In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf die oben beschriebenen Verdrängungsstrukturen hingewiesen. Auf Seite 126 wurde gezeigt, daß Verdrängungsprozesse aus idiomorphen syngenetischen Pyriten die latenten Gelstrukturen herausentwickeln können. SCHOUTEN hat nun durch künstliche Verdrängung und Metasomatose an Erzen von Mount Isa, Rammelsberg, Meggen und Mansfeld auch experimentell bewiesen, daß derartige Vorgänge ohne weiteres möglich sind. Da er bei seinen Versuchen auch Strukturen erhielt, wie sie von den komplexen Gelpyritstrukturen bekannt sind (z. B. Gelpyrite des Erztyps 1), schloß er daraus, daß alle Komponenten, die in kreisförmiger und myrmekitischer Verwachsung mit Pyrit die typischen Gelpyrite zusammensetzen, sich durch Verdrängung von Pyritmaterial ihren heutigen Platz erobert haben, während man bisher mit RAMDOHR annahm, daß sich die einzelnen Komponenten aus gemischten Sulfidgelen entmischt haben, also schon von Anfang an zusammen waren. SCHOUTEN hält aber seine pyritverdrängenden und Gelstrukturen entwickelnden Mineralien (z. B. Kupferkies, Bleiglanz usw.) für jüngere Zufuhr und stützt diese Annahme durch die Behauptung, diese Mineralien bildeten ohne Pyrit niemals selbständige Gelstrukturen. Diese Behauptung wurde schon auf S. 130 bei der Besprechung der Kupferkiesovoide in Zinkblende in Zweifel gezogen.

Warum im übrigen besonders Kupferkies, aber auch Zinkblende u. a. in der Tat für die Erhaltung von Gelstrukturen ungeeignet sind, ist auf Seite 137/138 besprochen worden. Es ist danach auch gar kein Grund vorhanden, in diesen Mineralien eine spätere Zufuhr zu sehen. Sie können ebensogut syngenetisch wie der Pyrit sein, selbst wenn sie sich epigenetisch gebärden.

Daß allerdings bei der Bildung der heute vorliegenden komplexen Gelpyritstrukturen Verdrängungsvorgänge von syngenetischem Kupferkies usw. an syngenetischem Pyrit eine gewisse Rolle spielen können, wurde schon beim Typ 1 berichtet. Allerdings wurde dort diesen Vorgängen nur eine sekundäre Bedeutung zugemessen. Unter Berücksichtigung der experimentellen Ergebnisse SCHOUTENS muß man heute aber annehmen, daß solche — allerdings rein diagenetischen — Verdrängungsprozesse eine nicht unwesentliche strukturbildende Bedeutung haben.

Wenn nämlich nach der Gelentmischung Kupferkies und Pyrit selbständig nebeneinander liegen, scheinen sogleich an den Korngrenzen beider Lösungsvorgänge zu beginnen, die dem aktiven Kupferkies ein Wandern im passiven Pyrit ermöglichen. Diese (auf S. 137 besprochene) Lösungsaktivität des Kupferkieses führt dann dazu, daß der Sammelkristallisationsprozeß, der alle Mineralien bei der Diagenese mehr

oder weniger ergreift, bei Kupferkies ganz anders verläuft als bei Pyrit. Der passive Pyrit erhält seinen Gelbau und tarnt ihn nur gern nach außen hin durch idiomorphes Weiterwachsen. Der aktivere Kupferkies hingegen wandert und sammelt sich dann auf bestimmten, aus irgendwelchen Gründen besonders geeigneten Schalen des Gelpyrits (auf von vornherein kupferkiesreicheren Schalen?). Kupferkies zeigt also kein eigenes Gelgerüst mehr, sondern pseudomorphosiert die pyritische Gelstruktur durch seine Sammelkristallisations-Metasomatose. Dieser Vorgang bedeutet gleichzeitig eine Reinigung der übrigen Pyritschalen vom Kupferkies. Auf diese Weise mögen die Schalen von Kupferkies (und in andern Kieslagern auch von Bleiglanz usw.) mit ihren lappigen Grenzen gegen den pyritischen Wirt entstanden sein.

In der Zinkblende geht der Reinigungsprozeß vom Kupferkies offensichtlich viel träger vor sich. Die Kupferkieströpfchen bleiben im allgemeinen ruhig in der Zinkblende liegen. Immerhin tritt auch hier mit der Zeit ein Zusammenlaufen der Ovoide ein (vgl. S. 128 unten).

Natürlich wird auch der umgekehrte, (von Schouten geforderte) Vorgang eintreten können, daß Kupferkies von außen her in einen Gelpyrit eindringt und Gelschalen verdrängend besetzt. Das Endergebnis wird genau so aussehen wie bei dem vorher geschilderten Ablauf. Vermutlich werden beide Vorgänge nebeneinander bestehen.

Bei dieser Betrachtung zeigt es sich, daß die Gegensätze zwischen der alten und der neuen Deutung der komplexen Gelstrukturen gar nicht so groß sind, und daß die beobachteten Verdrängungserscheinungen keinesfalls gegen die Annahme einer Erzentstehung aus gemischten Sulfidgelen sprechen müssen!

Schouten ist nun allerdings durch seine Annahme, daß es sich bei dem verdrängenden Material um Neuzufuhr handele, zu Schlußfolgerungen geführt worden, welche die Existenz von syngenetisch-sedimentären Kieslagern gänzlich in Frage stellen. Da nämlich nach seiner Ansicht nur der Pyrit Gelstrukturen zeigt, und alles andere Erz jüngere Zufuhr sein soll, käme für eine syngenetische Generation nur noch der Pyrit in Frage. Das hält dann Schouten offenbar für so unwahrscheinlich, daß er auch das Pyritmaterial für eine etwas ältere epigenetische Bildung erklärt.

Diese Gedankengänge führen Schouten dazu, nicht nur Rammelsberg und Meggen, sondern auch das Mansfelder Kupferschieferflöz für epigenetisch zu halten. Und daß Mansfeld syngenetisch ist, das ist doch aus den verschiedensten Gründen heute so sicher, daß hiermit allein schon die Schoutenschen Vorstellungen ad absurdum geführt sind. Ausführlich ist diese Frage in einer Besprechung der Schoutenschen Arbeit durch Berg behandelt worden (3).

2. Die Kupferkieserze der Gänge

Außer den pyritführenden Erzen des eigentlichen Kieslagers standen Proben zur Verfügung, in denen Kupferkies vorherrscht und Pyrit fehlt. Es zeigte sich, daß diese Erze den Lagererzen in struktureller, textureller und paragenetischer Hinsicht völlig fremd gegenüberstehen.

Das Vorherrschen derben Kupferkieses und das Auftreten von Bornit zeigt, daß es sich um die von Brand erwähnten „edlen Gelberze“ handelt, welche das Lager in Gängen durchsetzen und schon im Mittelalter größtenteils abgebaut worden sind, soweit die Wasserschwierigkeiten es damals zuließen.

Brand fand im alten Abbaugebiet nur im Bereich des St. Veit-Morgenganges ein größeres stehengebliebenes Gangstück.

Auch unter dem bearbeiteten Material waren die „Gelberz“-Proben zahlenmäßig weit schwächer vertreten als die Lagererze.

Die paragenetischen Angaben erheben deshalb auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Es wurden 3 Paragenesen beobachtet:

1. (Alexanderstollen): Kupferkies, Arsenkies, Zinkblende mit Ovoiden, Zinkblendesternchen im Kupferkies, Bleiglanz, ged. Wismut, etwas Enargit (?).
2. (Alexanderstollen, vom Abbau der Mansfeld A. G.): Kupferkies, Fahlerz, Bleiglanz, Bornit, Speiskobalt, ged. Wismut.
3. (Aus der Bayreuther Sammlung, nur mit Kupferberg bezeichnet!): Grundmasse aus Bornit, darin rhombischer Kupferglanz, rosa Kupferglanz, Speiskobalt, Zinkblende, Granat.

Die Paragenese 3 war nur durch ein einziges Stück vertreten. Der völlig abweichende Charakter dieser Probe läßt den Verdacht zu, daß dieses Stück durch eine Verwechslung unter Kupferberger Proben geriet, zumal auch eine genaue Fundortangabe unter Tage fehlte. Die Paragenese 3 wird kurz beschrieben, aber die an sich auffallenden Beobachtungen nicht zu Folgerungen verwendet.

Die Bildungsweise aller drei Paragenesen ist, wie auch aus der folgenden Erzbeschreibung hervorgeht, zweifellos hydrothermal.

Hierfür spricht u. a. das Auftreten von ged. Wismut und von Zinkblendesternchen im Kupferkies. Die Sternchen sollen für höhere Bildungstemperaturen sprechen (40). Im Zusammenhang hiermit ist aber auffallend, daß Cubanitlamellen auch in diesen Erzen nie beobachtet wurden (7). Auffallend ist auch das offenbar völlige Fehlen von Pyrit.

Die Gangart besteht aus zerfetztem und verdrängtem titanithaltigen Schiefermaterial. Kalkspat und Quarz treten reichlich auf. Der Kalkspat durchsetzt in langen Leisten Erz und Schiefer und ist offenbar die jüngste Bildung.

Kataklase fehlt selbst beim spröden Arsenkies und Speiskobalt. Dieser Umstand, sowie die ungeregelte Anordnung der einzelnen Kristalle läßt den Schluß zu, daß hier postvaristische Bildungen vorliegen. In Übereinstimmung hiermit steht, daß diese Erze nach den Angaben Brands und auch der älteren Literatur das Lager in ausgesprochenen Gängen durchsetzen.

Kleine Störungen und Verschiebungen zeigen die Gangerze genau so wie die Lagererze. Es handelt sich auch hier um die Auswirkungen jüngerer und jüngster tektonischer Ereignisse.

Kupferkies: Verdrängt intensiv die Schiefergangart und den Arsenkies, weniger den Speiskobalt und die Zinkblende. Keine Cubanitlamellen.

In Parag. 3 durchsetzt Kupferkies zusammen mit rhombischem Kupferglanz den Bornit auf feinen Gängchen.

Arsenkies: Meist in idiom. ziemlich großen Kristallen im Kupferkies. Meist von Kupferkies stark verdrängt. Keine Kataklase!

Zinkblende: Unregelmäßig geformte Stücke im Kupferkies. Ihre Kupferkiesovoide sind oft stäbchenartig und in geregelter Anordnung gruppiert. Seltener können auch gröbere Ovoide unregelmäßig im Kristall liegen. Dann tritt die Zinkblende noch in kleinen Stückchen von lappiger, amöbenartiger Ausbildung auf. Diese Formen leiten über zu den bekannten Zinkblendesternchen, die den Kupferkies an manchen Stellen in Mengen durchsetzen. Auch sie führen Ovoide. Hier liegen im Gegensatz zu den Lagererzen wohl echte Entmischungen vor. Die Sternchen schwimmen immer frei im Kupferkies, während die lappige Zinkblende sich gern zusammen mit einer Gangartneukristallisation an den Schieferfetzen ansetzt.

Bleiglanz: Nicht häufig. Meist mit Fahlerz zusammen. In kleinen Stückchen in der Nähe von Wismut.

Wismut: Fast nur in Kupferkies, meist als kleine Körnchen, seltener in Gängchen. Auffallend sind die braunroten Anlauffarben, mit denen rings um Wismutkörner der Kupferkies ausgezeichnet ist.

Enargit (?): In Kupferkies. Selten. Härte etwas höher als Kupferkies. Reflexion geringer als Kupferkies, höher als Zinkblende. Bireflexion und Anisotropie stark. (Auch noch bei Objektiv 1/10 a deutlich.) Anisotropie-Farben: graublaugrünlich nach rotbraun. Pflasterartige Struktur, die durch die Anisotropie gut sichtbar wird. Manchmal rote Innenreflexe.

Fahlerz: Mit Bleiglanz im Kupferkies. Reingrau, ohne farbigen Stich. Danach wohl ein Fe-reiches Cu-Sb-Fahlerz. In Luft etwas, in Oel sehr viel heller als die Zinkblende.

Bornit: In Paragenese 2 als kleine Stückchen im Kupferkies, Fahlerz und Bleiglanz. In Paragenese 3 bildet Bornit die Grundmasse, stellenweise verschieden gefärbt (orange-violett). Gut kenntlich anisotrop.

Speiskobalt: In Kupferkies, heller als dieser. Auch in der Gangart, wo er dann sehr hell und weiß wirkt. Nur kleine Kristalle, idiomorph (100). Nie kataklastisch. Oft von Kupferkies verdrängt. Aus völlig isotropen, etwas verschiedenfarbigen Lamellen zusammengesetzt (Speisekobalt-Chloanthit?).

Kupferglanz (nur Paragenese 3): Rhomb. Kupferglanz: deutlich anisotrop. Rosa Kupferglanz: sehr gut anisotrop. Beide in größeren unregelmäßig geformten Stücken. Rhomb. Kupferglanz auch auf kleinen Gängchen im Bornit.

Granat (auch nur Paragenese 3): Sehr schöne idiomorphe Kristalle nach 110, selten 111. Kristalle bis 1 mm Durchmesser. Farbe: braun-grünlich-gelb. Ausgezeichneter Zonarbau. Vielleicht ist auch ein ähnlich gefärbter Spinell beteiligt (nicht näher untersucht).

Der hydrothermale Charakter der gangförmig auftretenden Erze würde zu der Annahme berechtigen, daß hier Abkömmlinge eines benachbarten Tiefengesteines vorliegen. So meint auch Wurm, daß der postvaristische Granit Lösungen geliefert habe, während Brand die Granite der Gneismasse hierfür heranzieht. Auffallend ist nun in jedem Fall, daß die hydrothermalen Gangfüllungen einzig und allein in dem alten Lager auftreten, während in der weiteren Umgebung keine Gänge bekannt sind. Diese Beobachtungstatsache beschränkt sich nicht nur auf Kupferberg, sondern gilt bekanntlich für viele Kieslager.

Ganz allgemein sieht es so aus, als ob derartige Erzlager eine starke Anziehung auf in der Tiefe zirkulierende Lösungen ausüben. Die Gründe sind wohl gleichzeitig physikalischer und chemischer Natur. Physikalisch betrachtet, ist das alte Lager durch seine wechselnden

Erz- und Schieferschichten inhomogener als das Nebengestein. Es ist deshalb auch reicher an tektonischen Störungszonen, die für die Erzlösungen willkommene Aufstiegmöglichkeiten bieten. Speziell in Kupferberg tritt noch die große Unstetigkeitsfläche Erzlager-Diabas hinzu, an der sich alle tektonischen Störungen besonders stark auswirken mußten. Zur besseren Wegsamkeit tritt dann in chemischer Hinsicht noch der bevorzugte Erzabsatz im Lager durch bessere Reaktionsmöglichkeiten zwischen den jungen hydrothermalen Lösungen und den alten Sulfiden. Daß diese beiden Faktoren in der Tat wirksam sein können, ist unzweifelhaft. Ob sie aber derartig wirksam sind, daß durch sie sämtliche hydrothermalen Lösungen der weiteren Umgebung vollständig abgefangen werden, erscheint doch wiederum zweifelhaft. Wenn man die Lösungen von mehr oder weniger weit entfernt liegenden Eruptivkörpern ableitet, bleibt einem allerdings keine andere Erklärungsmöglichkeit.

Diese Überbewertung der Fähigkeiten des alten Lagers wird aber auf ein gesundes Maß zurückgeschraubt, wenn man die Herkunft der Lösungen nicht irgendwo außerhalb des Lagers, sondern im Lager selbst sucht, d. h. wenn man auch in den hydrothermalen Gängen im wesentlichen nur mobilisiertes Material der Lagererze sieht. Denn ähnlich, wie in kleinem Maßstabe und unter epizonalen Verhältnissen Kupferkies und z. T. auch Pyrit der syngenetischen Erze mobilisiert wurde, könnte auch in sehr viel tiefer gelegenen Teilen des steil einfallenden Lagers unter höheren Temperatur- und Druckverhältnissen eine völlige Umarbeitung erfolgt sein, die dann zur Füllung der postvaristischen Gangspalten Verwendung gefunden hätte. Hierbei würden sich in weiterer Entfernung vom „Aufbereitungsort" Pb-Zn-Erze abscheiden, in einem Horizont, der in Kupferberg schon der Abtragung anheimgefallen wäre. Im heutigen Kupferberger Horizont wäre dann die Hauptmenge des Kupferkieses zum Absatz gekommen, in dem die Elemente Bi, Co, As, die im syngenetischen Lager wohl nur in hochdisperser Verteilung vorhanden sein dürften, eine Anreicherung erfuhren. Der Eisengehalt müßte unter dem heutigen Kupferberger Horizont in größerer Tiefe erwartet werden, z. B. als Pyrit, Magnetkies oder Magnetit.

Derartige Vorstellungen hat neuerdings Fr. Hegemann zur Deutung der Verhältnisse im Bayrischen Wald herangezogen. Er sieht dort in der von ihm angenommenen Migmatitfront den mobilisierenden Faktor (26, 27). Besteht eine derartige Deutung zu Recht, dann wäre die so auffällige Ortsgleichheit der Lagererze und der hydrothermalen Gänge ganz zwanglos erklärt. Beide Paragenesen ständen sich nicht mehr fremd gegenüber, denn die Gänge würden dann als palingenes Erz die höchsterreichbare Metamorphosierungsstufe der Lagererze verkörpern. Selbstverständlich soll mit dieser Erklärung

nicht gesagt werden, daß nun jeder hydrothermale Gang innerhalb eines Kieslagers stofflich mit diesem zusammenhängt! Man wird von Fall zu Fall die Stoff- und Mineralbestände vergleichen und ferner, soweit überhaupt möglich, zu berücksichtigen suchen, ob die Gänge auch noch in weiter Entfernung vom Lager auftreten, oder ob sie rasch auskeilen. Um ein krasses Gegenbeispiel zu Kupferberg zu nennen: In Lam (Bayr. Wald) wird ein altes Pyrit-Magnetkieslager von einem jüngeren Erzgang durchsetzt. Aber erstens ist es nur ein Gang, und nicht eine ganze Anzahl wie in Kupferberg. Zweitens tritt dieser Gang noch in kilometerweiter Entfernung vom Lager auf. Drittens steht er durch Flußspatgehalt in starkem stofflichem Gegensatz zum Lager. Von irgendwelchen verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen Gang und Lager kann hier natürlich nicht die Rede sein. Wird dagegen wie in Kupferberg ein altes Lager von vielen hydrothermalen Gängen durchschwärmt, während die Umgebung gangfrei zu sein scheint, und läßt dann noch der stoffliche Vergleich eine Verwandtschaft zu, dann ist es meines Erachtens zwangloser, in diesen Gängen palingenes, in großer Tiefe mobilisiertes Material des Lagers zu sehen.

VI. Genetische Beziehungen zwischen den Kieslagern von Kupferberg, von Neufang und Adlerhütte bei Wiersberg und der Münchberger Gneismasse

Die genetische Deutung der Kupferberger Lagerstätte ist nicht allein lagerstättenkundlich und montangeologisch von Interesse, sondern kann auch zu wichtigen Schlußfolgerungen über die Geologie und Tektonik der Münchberger Gneismasse führen.

Daß die Gneismasse allseitig mit tektonischen Kontakten an die randlichen paläozoischen Schiefer grenzt, war schon Gümbel bekannt. Er deutete die Gneismasse als eine Auffaltung aus dem Untergrund (18, 19, 21).

Ähnliche Vorstellungen haben Cloos, Scholtz, Brennich und Bederke entwickelt: Durchspießung der paläozoischen Sedimentdecke durch die Aufwölbung einer alten, schon im Vorpaläozoikum angelegten Gneisschwelle während der varistischen Orogenese (11, 38, 9, 2).

Dieser Auffassung von einer „gebundenen Tektonik" steht die von Fr. Ed. Suess begründete Anschauung gegenüber, der in der Gneisscholle eine Überschiebungsmasse sieht (44).

Kossmat und Wurm schlossen sich dieser Meinung an und besonders Wurm war es, der sie in wesentlichen Punkten durch stratigraphische und tektonische Feststellungen unterbaute (30, 45—49).

v. Seidlitz brachte eine kritische Betrachtung der verschie-denen Bildungstheorien (43).

Auf indirektem Wege förderten Eigenfeld (14) und Schüller (41) die Vorstellung von einer überschobenen Gneismasse.

Eigenfeld zeigte, daß in den Kulmkonglomeraten von Teuschnitz im Frankenwalde Gneismassengerölle völlig fehlen. Die Geröllschüttung kam vom Norden

(Schwarzburger Sattel). Das Gebiet der Gneismasse dürfte hiernach während des Paläozoikums keine Schwellenzone im Sinne von CLOSS und SCHOLTZ gewesen sein.

SCHÜLLER meint, die kristallinen Schiefer des Fichtelgebirges wiesen eine Metamorphose auf, die sich am besten durch die Einwirkung einer Schubmasse erklären ließe, die dereinst über sie geglitten sei. Er zeigt ferner, daß der sog. Bernecker Gneiskeil an einer Blattverschiebung aus dem Gneismassenverband herausgezogen wurde und keine Aufwölbung im Sinne von BRENNICH darstellt, sondern im Gegenteil einer Senkungszone angehört.

SCHEUMANN zeigte schließlich, daß auch der NO-Rand der Gneismasse Mylonitzonen besitzt! Diese Mylonite sind makroskopisch durch ihre große Ähnlichkeit mit Keratophyren, die gleich neben ihnen vorkommen, schwer von diesen zu unterscheiden. Die Keratophyre sind Oberflächenergüsse und fallen unter die Mylonitzone ein. SCHEUMANN stellt die Keratophyrergüsse an den Anfang des Oberdevons. Danach wäre die Gneismasse eine frühbretonische Überschiebung (37).

Eine dritte, heute nicht sehr aktuelle Deutung der Gneismasse wurde von NAUMANN zuerst begründet, der in der Gneismasse eine magmatische Bildung in der Art eines Lakkolithen sah (33, 34).

LEPSIUS, KOHLER, DÜLL und ZIEGLER modifizierten diese Vorstellung und sahen in der Gneismasse Misch- und Kontaktgesteine, die durch die Einwirkung eines Granitmagmas auf paläozoische Schichten entstanden seien (32, 29, 12, 50). KOHLER und ZIEGLER glaubten sogar, an der SO-Seite einen vollständigen Kontakthof erkennen zu können, der langsam in die unveränderten paläozoischen Schiefer überginge. Daß auf der NW-Seite alle Kontaktbildungen durch randliche Überschiebungen verschluckt wurden, hat aber auch KOHLER schon hervorgehoben.

BRAND und DEUBEL kann man im großen und ganzen an diese Autoren anschließen. Beide betonen aber die starken Aufpressungstendenzen, die zur Ausbildung eines tektonischen Kontaktes auch auf der SW- und SO-Seite führten (8, 13)!

Nach DEUBEL ist die Grüngesteinszone am SO-Rand nur der Torso eines früher vollständigen Kontakthofes, der heute mit Überschiebungslinien an das unveränderte Paläozoikum grenzt.

KOHLER und GÖTTE (29, 17) sahen in den „Grüngesteinen" metamorphe basische Eruptiva. ZIEGLER, LEPSIUS und DEUBEL zeigten, daß außerdem metamorphe Sedimente in dieser Zone enthalten sind. Auffallend ist die Bezeichnung „Kontakthof", die von LEPSIUS, DÜLL, KOHLER, ZIEGLER und auch DEUBEL gebraucht wird. Nur GÖTTE weist auf den „dislokationsmetamorphen" Zustand dieser Gesteine hin! Man hätte hier wohl besser an Stelle von einem Kontakthof von den Resten einer Schieferhülle gesprochen, die von innen nach außen von hochmetamorphen Gesteinen ziemlich sprunghaft zu epizonalen Bildungen übergeht.

In dieser „Grüngesteinszone" am SW-Rand der Masse, liegen nun auch die Magnetkieslager von Neufang und von Adlerhütte bei Wiersberg. BRAND und WURM meinen beide, daß diese Lager mit dem Pyritlager von Kupferberg eine genetische und auch räumliche Einheit bilden. Alle drei Abbauten sollen also auf einem zusammenhängenden Erzzug aufsitzen, der zwischen Kupferberg und Neufang die Gneismassen-Randüberschiebung kreuzt. Dieser Zusammenhang verknüpft die Kupferberger Feststellungen mit dem Gneismassenproblem und ermöglicht dadurch sehr weitgehende Schlußfolgerungen. Aus diesem Grunde ist es aber auch angebracht, genau nachzuprüfen, ob die behauptete Einheitlichkeit der Lagerstätten tatsächlich besteht!

Alle 3 Erzvorkommen liegen allerdings auf einer Linie, die zugleich mit der Streichrichtung des Kupferberger Erzkörpers einigermaßen

zusammenzufallen scheint (siehe Fig. 1). Das ist aber auch alles! Gerade in dem wichtigen Bereich des Überganges in die Gneismasse liegen keine Aufschlüsse! Es bleibt also bis auf weiteres die Möglichkeit offen, daß wir es mit zwei ganz verschiedenen Lagerstätten zu tun haben, die nur durch die Art ihrer Nachbarschaft eine einheitliche Lagerstätte vortäuschen. Hier können nur Aufschlußarbeiten und die Auswertung der schon fertiggestellten geophysikalischen Aufnahmen klärend wirken. Leider war über die Aufnahmeergebnisse von den zuständigen Stellen fast nichts zu erfahren, so daß ein abschließendes Urteil heute noch nicht möglich ist.

Trotzdem sollen kurz die geologischen Folgerungen, die aus einer Zusammengehörigkeit der Lagerstätten erwachsen würden, besprochen werden, weil mit dieser Annahme schon gearbeitet worden ist. So hat Wurm gefolgert (48): Der Erzkörper streicht vom Paläozoikum in die Gneismasse hinein. Die Gneismasse ist eine im Varistikum auf das Paläozoikum aufgeschobene Schubmasse. Folglich kann der Erzzug Kupferberg-Neufang-Adlerhütte nur epigenetisch (hydrothermal) und postvaristisch sein.

Wurms Voraussetzungen sind aber bis heute nur Annahmen. Daß der Kupferberger Teil des Erzzuges nicht postvaristisch ist, zeigt die vorliegende Arbeit. Mindestens eine der beiden Voraussetzungen Wurms kann danach nicht stimmen.

Es kommt hinzu, daß der Teil Neufang-Adlerhütte eine für eine hydrothermale Lagerstätte sehr ungewöhnliche Mineralzusammensetzung hat.

Einen umgekehrten Weg gingen Hegemann und Ibach (22) in einem Vorbericht über die vorliegenden Untersuchungen, und schlossen aus der Bildungsweise der Kupferberger Lagerstätte auf die Genesis der Gneismasse. Damals wurde etwa niedergelegt: Das Kupferberger Erzlager ist nach den mikroskopischen Ergebnissen syngenetisch-sedimentär. Das Erz von Neufang besteht vorwiegend aus Magnetkies. Magnetkies ist in dieser Ausbildung und Menge schwerlich hydrothermal, sondern viel eher aus Pyrit durch Metamorphose entstanden. Aus dem von Wurm und Brand angenommenen Zusammenhang der Lager folgert dann, daß das Ausgangsmaterial des Magnetkieses nur syngenetischer Pyrit sein kann. Die Wiersberger Erz- und Gesteinsserie ist also der Kupferberger Serie äquivalent. Nur befindet sich die Wiersberger Serie in einem höheren Metamorphosierungszustand. Die Wiersberger Grüngesteine, diese Gesteine eines rudimentären Schiefermantels, wären metamorphes Paläozoikum, wie Lepsius und Deubel es vermuteten. Die Auffassungen sowohl von einer „gebundenen“ als auch von einer Schubmassen-Tektonik wären dann nicht mehr haltbar. Aber: Unbewiesene Voraussetzung bleibt auch hier die Zusammengehörigkeit der Lager! Solange dieser Nachweis nicht

geliefert ist, müssen alle Erörterungen Hypothesen bleiben. Es soll deshalb auch nicht auf Einwände eingegangen werden, die WURM brieflich gegen die Folgerungen von HEGEMANN und IRACH vorgebracht hat.

Bemerkt werden muß noch, daß eine größere Horizontalverschiebung des Erzkörpers an der Gneismassen-Randüberschiebung noch nicht gegen die Zusammengehörigkeit der Lager hüben und drüben sprechen würde! Bedingung für die Zusammengehörigkeit wäre nur, daß beide Teilstücke auch tatsächlich bis an die Überschiebung heran streichen.

VII. Einige Bemerkungen über die Bauwürdigkeit der Kupferberger Erze

Auf die Bauwürdigkeit und die Möglichkeiten eines vorteilhaften Abbaues ist BRAND in der Schlußbetrachtung seiner Arbeit ausführlich eingegangen. Hier soll nur eine spezielle Frage besprochen werden, auf die schon WURM hingewiesen hat: Es handelt sich darum, wieweit die sog. edlen Gelberze hydrothermaler und wieweit sie deszendent-zementativer Entstehung sein können.

Die erzmikroskopisch untersuchten „Gelberze" haben sich eindeutig als hydrothermal erwiesen.

Die Proben stammen aus dem Alexanderstollen, der das Gebiet des St. Veit-Morgenganges erschließt. Das von BRAND erwähnte Gelberzgangstück des St. Veit-Morgenganges in 50 m Teufe entspricht nach Fundort, Teufe und Beschreibung diesen Proben. BRAND und WURM nahmen deszendente Entstehung an. Das trifft also keinesfalls zu! Vielmehr darf, wenigstens in diesem Teil des Grubenreviers, von 50 m Teufe an abwärts nur noch hydrothermales Gangmaterial erwartet werden. Wie weit in den Gängen oberhalb 50 m deszendente Erze beteiligt waren, läßt sich heute wahrscheinlich nicht mehr feststellen, da die Alten bis zu einer Durchschnittsteufe von 40 m alles schon abgebaut haben.

Aus der Aszendenz der Kupferkiesgänge darf man schließen, daß auch in größeren Teufen kupferreiche Erze zu erwarten sind.

Hiermit stimmt überein, daß die Mansfeld A. G. bis zu den tiefsten Abbauten in 178 m Teufe nach Angaben von WURM (48) einen durchgängig hohen und konstanten Kupferkiesgehalt antrafen.

Aber selbst wenn der ungünstigste Fall einer Vertaubung in noch größeren Teufen eintreten sollte, so sind allein in dem erwähnten Teufenbereich von 50—178 m Erzmengen vorhanden, die den Abbau auf längere Zeit sicherstellen könnten. Man muß doch bedenken, daß die Alten nur im Gebiet des St. Veit-Morgenganges größere Teufen erreichten und auch hier nur auf einem zufällig wasserfreien Streifen. Nördlich des Morgenganges steht also noch genügend unverritztes

Erz an, weil die Alten nur bis 40 m abbauten. Und seitlich des schmalen, abgebauten Streifens scheint überhaupt noch nicht geschürft worden zu sein. Hier sind in den oberen Teufen vielleicht auch noch Zementationserze zu erwarten. Alle diese Feststellungen und Überlegungen lassen die Erwartung zu, daß im Kupferberger Revier auch heute noch Erze von guter Qualität zu gewinnen sind.

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Kieslager von Kupferberg in Oberfranken tritt am SW-Rand der Münchberger Gneismasse in paläozoischen Schiefern auf. Man unterscheidet ein Pyrit-Kupferkieslager, das konkordant und meist linsenförmig in den Schiefern liegt und kupferkiesführende Gänge, die das Lager teils konkordant, teils diskordant durchsetzen.

Die Lagererze sind prävaristischen Alters. Sie haben ebenso wie das Nebengestein eine verschiefernde epizonale Tektonik mitgemacht, die auf die varistische Orogenese zurückgeführt werden muß.

Das Alter dieser Erze läßt sich aus ihren Strukturen erschließen. Es handelt sich um syngenetische Bildungen, die noch Relikte primärer Gelstrukturen und einer alten Sedimentationsschichtung im Erz erhalten zeigen.

Am Aufbau dieser Strukturen ist ein großer Teil des Pyrits und der Zinkblende und nur ein kleiner Teil des Kupferkieses beteiligt. Aber auch das übrige, epigenetisch aussehende Material der Lagererze, insbesondere der Kupferkies, scheint nur mobilisiertes syngenetisches Material zu sein.

Die eigentlichen Kupferkiesgänge sind hingegen auf Grund struktureller und paragenetischer Feststellungen hydrothermal und postvaristisch.

Das Kupferberger Lager soll seine Fortsetzung in den Magnetkieslagern von Neufang und Adlerhütte bei Wiersberg finden, die schon innerhalb der Münchberger Gneismasse liegen. Aus diesem Zusammenhang ergeben sich weitreichende Schlüsse auf die Entstehung der Gneismasse.

Von bergmännischer Bedeutung ist der Nachweis von der hydrothermalen Bildung der eigentlichen Kupferkiesgänge.

Anregung und Förderung dieser Arbeit verdanke ich Herrn Dr. HEGEMANN vom Mineralogisch-geologischen Institut der technischen Hochschule München. Ihm, der mir oft mit Rat und Tat zur Seite stand, sei hiermit vielmals gedankt. Dank gebührt ferner Herrn Prof. Dr. H. STEINMETZ, in dessen Institut ich arbeiten durfte, und der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die Mittel für die Untersuchungen zur Verfügung stellte.

Literaturangaben

1. AHRENS, L., Die Lagerungsverhältnisse am NW-Rand des Münchberger Gneises. Zentralbl. f. Min. usw. 1922, S. 440.
2. BEDERKE, E., Zum Gebirgsbau der mittleren Sudeten. Geol. Rundschau 1927, 18, S. 225—229.
3. BERG, G., Metasomatose in sedimentären Sulfidlagern. Z. f. prakt. Geol. 1937, S. 176.
4. BERGEAT, A., Bemerkungen über das Kupfererzvorkommen zu Stadtberge in Westfalen. Z. f. prakt. Geol. 1910, Heft 10, S. 367.
5. BERNAUER, F., Rezente Bildung einer Kieslagerstätte auf der Insel Vulcano. Z. Deutsche geol. Ges. 84, 1932, S. 568.
6. —, Rezente Erzbildung auf der Insel Vulcano, Teil I. Neues Jahrbuch f. Min. usw. A, BB. 69, 1935, S. 60—92.
7. BORCHERT, H., Über Entmischungen im System Cu-Fe-S und ihre Bedeutung als „geologische Thermometer". Chemie der Erde 9, 1934, S. 145—172.
8. BRAND, H., Die Kupfererzlagerstätte von Kupferberg in Oberfranken mit besonderer Berücksichtigung ihrer Beziehungen zur Münchberger Gneismasse. Geognostische Jahreshefte 34, 1921, S. 1—102.
9. BRENNICH, G., Der Gneiskeil bei Berneck im Fichtelgebirge. Geol. Rundschau 21, 1930, S. 218—233.
10. CLAR, E., Bemerkungen zu G. FREBOLD (16). Zentralblatt f. Min. usw. A. 1927, S. 462—464.
11. CLOOS, H., Zur Frage des Deckenbaues in Schlesien und im Fichtelgebirge. Geol. Rundschau 18, 1927, S. 221—225.
12. DÜLL, E., Über die Eklogite des Münchberger Gneisgebietes. Geogn. Jahreshefte 15, 1902, S. 65—156.
13. DEUBEL, F., Der SO-Rand der Münchberger Gneismasse im Gebiet von Schwarzenbach a. S. Zentralblatt f. Min. usw. 1923 B, S. 394—400 und S. 427—433.
14. EIGENFELD, R., Die Kulmkonglomerate von Teuschnitz im Frankenwalde. („Prävarisk. Glieder", Nr. 11.) Abh. sächs. Ak. d. Wiss., math.-phys. Kl. 42, Heft 1, 1933.
15. FREBOLD, G., Über die Bildung der Alaunschiefer und die Bildung der Kieslagerstätten Meggen und Rammelsberg. Abh. z. prakt. Geol. und Bergw.-Lehre 13, 1927, Halle a. S. Ref. N. J. 28, II, 179.
16. —, Über verlegte Relikttexturen im Rammelsberger Melirerz. Zentralblatt f. Min. usw. A, 1928, S. 260.
17. GÖTTE, A., Die Kieserzlagerstätten bei Sparneck im Fichtelgebirge unter besonderer Berücksichtigung ihrer Genesis. Neues Jahrbuch f. Min. usw. A, BB. 59, 1929, S. 65—96.
18. GÜMBEL, C. W., Über das Alter der Münchberger Gneispartie im Fichtelgebirge. Neues Jahrbuch f. Min. usw. 1861, S. 257—277.
19. —, Über das Alter der Münchberger Gneisgruppe. Neues Jahrbuch f. Min. usw. 1863, S. 318—333.
20. —, Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges. 1879, S. 303, 394—396 (über Kupferberg).
21. —, Geologie von Bayern, 2. Band, 4. Teil, 1894, S. 545—548 (Gneismassse), S. 549 (Wiersberger Erz), S. 568 (Kupferberger Erz).
22. HEGEMANN, FR. und IBACH, RUD., Über die Kieslagerstätte von Kupferberg in Oberfranken. Metallwirtschaft 1936, Heft 21.
23. — und MAUCHER, A., Die Bildungsgeschichte der Kieslagerstätte im Silberberg bei Bodenmais. Abh. d. bayr. Oberbergamtes, Heft 11, 1933.
24. — —, Die Entstehungsgeschichte der Kieslagerstätte bei Lam im Bayr. Wald. Chemie d. Erde 9, 1934, S. 173—199.
25. —, Über die Entstehungsweise der Kieslagerstätten von Sparneck in Oberfranken. Metallwirtschaft 16, 1937, S. 719—720.
26. —, Über die Entstehung der sulfidischen Erzlager des ostbayrischen Grenzgebirges. Fortschritte der Min. 21, 1937, S. 54.
27. —, Über die Migmatitstockwerke des Bayr. Waldes. Fortschritte der Min. 21, 1937, S. 50—54.

28. HERZOG, J. B., Bericht des Schichtmeisters und Rechnungsstellers der Concordia-Gewerkschaft, 1805. Akten des Oberbergamtes München. Weitere alte Schriften bei BRAND (8).
29. KOHLER, E., Über den Aufbau der Münchberger Gneisinsel. Geognost. Jahreshefte 27, 1914, S. 27.
30. KOSSMAT, F., Das Problem der Großüberschiebungen im variskischen Gebirge Deutschlands. Zentralblatt f. Min. usw. 1931 B, S. 577—602.
31. LAUBMANN, H., Die Minerallagerstätten von Bayern rechts des Rheins. 1924, S. 86—88 (über Kupferberg).
32. LEPSIUS, R., Geologie von Deutschland und den angrenzenden Gebieten. II. Leipzig 1910, S. 126.
33. NAUMANN, C. FR., Über die Münchberger Gneisbildung. Neues Jahrbuch f. Min. usw. 1863, S. 1—15.
34. —, Noch einige Bemerkungen über die Münchberger Gneisbildung. Neues Jahrbuch f. Min. usw. 1863, S. 531—541.
35. Oberbergamt München, Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns. 1924, I. Band, S. 150.
36. RAMDOHR, P., Über den Mineralbestand und die Strukturen der Erze des Rammelsbergs. Neues Jahrbuch f. Min. usw. A., BB. 57, 1928, S. 1013—1068.
37. SCHEUMANN, K. H., Petrographische Beobachtungen über die Art und den Zeitpunkt der Münchberg-Zwischengebirgischen Gneisüberschiebung. Berichte der math.-phys. Kl. d. sächs. Ak. d. Wiss. Leipzig 1937, Band 88.
38. SCHOLTZ, H., Zum Bewegungsmechanismus der Münchberger Gneismasse. Zentralblatt f. Min. usw. 1929, B., S. 379—391.
39. SCHOUTEN, C., Metasomatische Probleme (Mount Isa, Rammelsberg, Meggen, Mansfeld) und künstliche Verdrängung. Amsterdam 1937. Scheltema und Holtema.
40. SCHNEIDERHÖHN-RAMDOHR, Lehrbuch der Erzmikroskopie.
41. SCHÜLLER, A., Über epizonal verformte Magmatite des westlichen Fichtelgebirges, ihre genetische Ableitung und ihre Weiterbildung in Hornfelsfazies. („Prävarisk. Glieder“ Nr. III.) Abh. d. math.-phys. Kl. d. sächs. Akad. d. Wiss., 42, Nr. 3. Leipzig 1934.
42. SCHUSTER, M., Petrographische Studien an „Weißsteingneisen“ aus der Münchberger Gneisgruppe. Geognostische Jahreshefte 1908, München.
43. v. SEIDLITZ, W., Tektonische Beziehungen der Münchberger Gneismasse zum Erzgebirge und nördlichen Böhmerwald. Geol. Rundschau 12, 1921, S. 270 bis 292.
44. SUESS, F. E., Vorläufige Mitteilung über die Münchberger Deckscholle. Sitzungsber. d. Ak. d. Wiss. Wien, Math.-Naturw. Kl., 1912, Bd. 121, Abt. IIa, Heft X, S. 253.
45. WURM, AD., Geologie von Bayern, I. Teil, 1925, S. 352: über Kupferberg, S. 22: über die Gneismasse. Borntraeger. Berlin 1925.
46. —, Tektonische und magmatische Analyse des alten Gebirges im Norden von Bayern. Zentralblatt f. Min. usw., 1923, S. 532—542 und S. 561—575.
47. —, Über den Bauplan des variskischen Gebirges am Westrand der böhmischen Masse. Geol. Rundschau 17, 1926, S. 241—257.
48. —, Zur Genese der Kieslagerstätte von Kupferberg in Oberfranken. Geognost. Jahreshefte 40, 1927, S. 53—58.
49. —, Der Bauplan des variskischen Gebirges in Bayern. Ein Beitrag zum Bewegungsmechanismus des variskischen Gebirges. Neues Jahrbuch f. Min. usw. BB. 60 B, 1928, S. 473—530.
50. ZIEGLER, M., Das Münchberger Gneisgebiet, vom petrographischen Standpunkt aus. Diss. techn. Hochschule München, 1914.







Verantwortlicher Anzeigenleiter: Gerhard Lietz, Berlin SO 36

Printed in Germany



